

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**Studie ochrany rozváděčů 0,4 kV na objektu TKV
před přepětím**

**Switchboards 0,4 kV Protections Study for Object TKV from
Overvoltage**

Diplomová práce

2011

Bc. Radek Mikulášek

Poděkování

Děkuji panu Ing. Edmundu Pantůčkovi za odborný dohled, cenné a užitečné rady, které mi byly během zpracování této diplomové práce poskytnuty.

Dále bych poděkoval Ing. Martinu Adamieci za materiály a cenné informace týkající se diplomové práce a materiálů TKV.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, že jsem uvedl všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Ve Zlíně dne 19.4.2011

Bc. Radek Mikulášek

.....

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem přepět'ových ochran pro rozvodny 0,4 kV Teplárny Karviná firmy Dalkia ČR a.s. podle souboru platných norem ČSN EN 62 305. Práce se skládá z pěti částí.

První část se zabývá teoretickým popisem atmosférického, provozního a spínacím přepětí. Následně jsou zde popsány druhy ochran, jejich funkčnost a instalace.

Druhá část se zabývá rozbořem stávajícího stavu vnějších i vnitřních ochran před atmosférickým a provozním přepětím. Jsou v něm uvedeny svodové, uzemňovací a jímací soustavy. Je tu také zahrnuta analýza rizik. Výsledek analýzy rizika má vliv na další postup návrhu přepět'ových ochran.

Třetí část se zabývá shrnutím analýzy současného stavu.

Čtvrtá část se zabývá rámcovou legislativou.

Pátá část diplomové práce se zabývá návrhem SPD ochran proti přepětí v rozvodně 0,4kV, jenž se týká především návrhu a umístění svodičů přepětí a svodičů bleskových proudů.

Klíčová slova - přepětí, přepět'ová ochrana, řízení rizika, hromosvod, svodiče přepětí

Abstract

This Diploma thesis deals with overvoltage protection design for substations 0,4 kV the Dalkia ČR a.s. heating plant Karviná company as by ČSN EN 62 305 standard enacted. The Thesis has five main parts.

The first part is concerned with theoretical description of the atmospheric, working and switching overvoltage. Following here are described the kinds of protections, their functionality and installation.

The second part is concerned with current statement analysis of the external and internal overvoltage protections against atmospheric and working overvoltage. There are also mentioned down-lead system, grounding and lightning systems. Result of the risk analysis has an effect on the process overvoltage protection design.

The third part is concerned with a summary of current statement analysis.

The fourth part framework general legislation.

The fifth part of the thesis is concerned with the SPD overvoltage protection design for substations 0,4 kV, especially location of the overvoltage down-leads and lightning arrester which mainly concerns the design and location of surge arresters and protection of 0.4 kV substation.

Key words - overvoltage, surge protection, risk management, lightning rod, surge arresters

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	plocha [m ²]
a	rozteč mezi elektrodami [m]
C	kapacita [μF]
c_d	činitel plochy [-]
c_t	transformátorový činitel [-]
c_e	činitel prostředí okolí sekce [-]
ESD	přepětí vzniklá při výbojích statické elektřiny
I	elektrický proud [A]
K	činitel velikosti přepětí [-]
LEMP	atmosférické přepětí
LPS	systém ochrany před bleskem
LPL	hladina ochrany před bleskem
L	indukčnost [mH]
LPZ	zóny ochrany před bleskem
l	délka zemniče [m]
NEMP	přepětí způsobená nukleárními výbuchy
R	zemní odpor [Ω]
r_e	střední poloměr [-]
R₁	Rozvodna
SEMP	spínací přepětí
SPD	přepětřová ochranná zařízení
ESD	přepětí vzniklá při výbojích statické elektřiny
TKV	Teplárna Karviná
TG	turbogenerátor

Δu napětí mezi napěťovými elektrodami [V]

ρ rezistivita půdy [$\Omega \cdot m$]

Obsah

Obsah	1
Seznam tabulek	4
Seznam obrázků	4
Úvod	5
1. Přepětí.....	6
1.1 Atmosférické přepětí (LEMP- Lightning ElectroMagnetic Pulse)	7
1.2 Druhy ochran před bleskem	9
1.2.1 Požadavky předpisů.....	9
1.2.2 Vnější ochrana před bleskem.....	10
1.2.2.1 Druhy ochrany před bleskem – třídy LPS (Lightning Protection System).....	10
1.2.2.2 Jímače	11
1.2.2.3 Svody	13
1.2.2.4 Uzemnění.....	14
1.2.2.5 Ekvipotenciální pospojování v ochraně před bleskem	17
1.2.3 Vnitřní ochrana před bleskem a přepětím.....	19
1.3 Přepět'ová ochranná zařízení - SPD (Surge Protective Device)	20
1.3.1 Zóny ochrany před bleskem LPZ (Lightning Protection Zone)	20
1.3.2 Svodiče přepětí	21
1.3.2.1 Třídy svodičů přepětí.....	21
1.3.2.2 Princip činnosti SPD.....	24
1.4 Provozní přepětí	26
1.4.1 Spínací přepětí	26
1.4.1.1 Vypínání zkratu v nule proudu	26
1.4.1.2 Vypínání kapacitních proudů	28
1.4.1.3 Zapínání nezatíženého vedení	28
1.4.1.4 Simulovaný výpočet napět'ové špičky	29
2. Popis stávajících LPS v TKV	30

2.1	Řešení vnější LPS – hromosvod TKV.....	30
2.2	Ekvipotenciální pospojování proti blesku	31
2.3	Řešení SVP v TKV	32
2.3.1	Nově uzemněné části mlýnských okruhů	32
2.3.1.1	Popis SVP v úrovni 0m mlýnského okruhu.....	33
2.3.1.2	Popis SVP v úrovni 8,5m mlýnského okruhu.....	33
2.3.1.3	Popis SVP v úrovni 15,5m mlýnského okruhu.....	33
2.3.1.4	Popis SVP v úrovni 18,5m mlýnského okruhu.....	34
2.3.1.5	Popis SVP v úrovni 22,5m mlýnského okruhu.....	34
2.4	Projekt řízení rizika LPS	34
2.4.1	Způsob řešení řízení rizika	35
2.4.2	Vlastní provedení výpočtu rizika.....	36
2.4.3	Zadané hodnoty objektu TKV	36
2.4.4	Zadané inženýrské sítě	36
2.4.4.1	Inženýrská síť č.1 Telekomunikace.....	36
2.4.4.2	Inženýrská síť č.2 ČEZ síť VVN 110kV	36
2.4.4.3	Inženýrská síť č.3 Dalkia síť 0,4kV.....	36
2.4.4.4	Inženýrská síť č.4 Dalkia síť 6kV.....	37
2.4.5	Zadané vnější zóny	37
2.4.5.1	Venkovní zóna č.1 Příjezdová a příchozí zóna.....	37
2.4.6	Zadané vnitřní zóny	37
2.4.6.1	Vnitřní prostor č.1 Výrobní prostor.....	37
2.4.6.2	Vnitřní zóna č.2 Místnost velínu	38
2.4.6.3	Vnitřní prostor č.3 Rozvodna 0,4kV	39
2.4.6.4	Vnitřní prostor č.3 Prostory mlýnů.....	39
2.4.8	Celkový výsledek výpočtu rizika stávajícího stavu v TKV.....	40
3.	Shrnutí analýzy současného stavu	41
4.	Legislativní rámec.....	42
5.	Návrh SPD pro rozvodny v TKV	46
5.1	Návrh SPD pro rozvodnu 0,4kV	46
5.2	Návrh SPD pro rozvodnu 0,5kV	48

6. Závěr	50
7. Seznam použité literatury	51
8. Přílohy	52

Seznam tabulek

Tabulka č. 1-1 Parametry jednotlivých tříd LPS

Tabulka č. 1-2 Střední hodnoty rezistivity půdy

Tabulka č. 1-3 Minimální rozměry vodičů, které spojují mezi sebou sběrnice vyrovnání potenciálů

Tabulka č. 1-4 Označení SPD ochran

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Izokeraunická mapa ČR

Obrázek 2 - Tvary poruchových vln

Obrázek 3 - Vymezení ochranného prostoru tyčového jímače metodou valící se koule

Obrázek 4 - Vymezení pracovního prostoru tyčového jímače metodou ochranného úhlu

Obrázek 5 - Vymezení pracovního prostoru tyčového jímače na ploché střeše

Obrázek 6 - Vymezení ochranného prostoru zavěšeného lana metodou ochranného úhlu

Obrázek 7 - Závislost délky zemničů na rezistivitě půdy a třídě LPS

Obrázek 8 - Příklady zemničů

Obrázek 9 - Příklad systému vyrovnání potenciálů

Obrázek 10 - Znázornění objektu s vnější ochranou proti blesku a jednotlivých zón LPZ

Obrázek 11 - Systém třístupňové ochrany v síti TN-S

Obrázek 12 - Systém třístupňové ochrany v síti TN-C-S

Obrázek 13 - Systém třístupňové ochrany v síti TT

Obrázek 14 - Odezva jiskřiště na rázovou vlnu

Obrázek 15 - Odezva varistoru na rázovou vlnu

Obrázek 16 - Schéma a průběh napětí na vypínači při vypnutí zkratu

Obrázek 17 - Náhradní schéma a opakovaný průraz při vypínání kapacitní zátěže

Obrázek 18 - Jímač TKV

Obrázek 19 - Zemnicí soustava - armovací síť

Obrázek 20 - Mřížová uzemňovací soustava

Obrázek 21 - Svislý tyčový zemnič typu A

Obrázek 22 - Rozdělení zón v TKV

Obrázek 23 - Ukázka programu R03 verze 4.20

Obrázek 24 - Stávající SPD ochrana v rozvodně 0,4KV

Obrázek 25 - Zjednodušené schéma sítě rozvoden TKV

Obrázek 26 - SPD (Typ 1) PWT 100 – 800 AC

Obrázek 27 - SPD (Typ 2) VAL - MS

Obrázek 28 - SPD (Typ 1 + Typ 2) FLT - CP

Obrázek 29 - SPD (Typ 1/Typ 2) VAL – MS

Obrázek 30 - SPD (Typ 3) PT2 – PE

Obrázek 31 - SPD (Typ 2) SYS - SET

Úvod

Dalkia ČR – divize Karviná, Závod výroby, Teplárna Karviná, zajišťuje výrobu tepla, elektřiny a jejich distribuci pro města Havířov a Karvinou, dále je dodavatelem tepelné a elektrické energie pro distribuci distribuční soustavy 110kV a do rozvodny R 22kV Dalkia Idustry. Teplárna se skládá ze čtyř bloků pro výrobu tepla (kotlů na černé energetické prachové uhlí, granulované uhelné kaly a degazanční plyn) se jmenovitým tepelným příkonem 4 x 72, 94 MWt. Ve strojovně TKV je na společné parní sběrně instalováno turbostrojí TG 4 o výkonu 15 MWe a TG 5 o výkonu 39,8 MWe.

Tato diplomová práce se zabývá studií ochrany rozváděčů a problematikou přepětíových ochran. V posledních letech se klade stále větší důraz na elektromagnetickou slučitelnost zařízení a s tím i na ochranu proti přepětí. Ochrana proti přepětí patří v dnešní době mezi základní ochrany v elektroenergetice. Je také nedílnou součástí energetických rozvodů. Účelem těchto ochran je zamezit ničivým účinkům působení přepětí na elektrických a elektronických zařízení.

Pro navržení a instalaci těchto ochran je v první řadě třeba znalostí a vědomostí v tomto odvětví. Tímto se zabývá úvodní část diplomové práce. Dále je třeba čerpat z norem ČSN 62305 a IEC TS 610000-6-5, které vymezují použití a návrh těchto ochran.

V první části je teoretický rozbor vzniku a účinku přepětí a konceptu zařízení na ochranu proti němu.

Druhá část diplomové práce popisuje stávající stav vnějšího LPS - hromosvodu, uzemnění a všech opatření proti atmosférickému přepětí (ekvipotenciální pospojení, svody, zemniče, atd). Je zde také provedena detailní analýza rizik pro stanovení dostatečné ochrany před bleskem, kterou vymezuje ČSN 62305 -2. Pro tuto analýzu je použit program Analýza rizik R03 verze 4.2, který vytvořil ing. Milan Kaucký. Tato analýza zjistí, jestli je ochrana proti přepětí nedostatečná, nebo naopak.

Ve třetí kapitole je popsáno shrnutí analýzy současného stavu.

Ve čtvrté kapitole je popsán legislativní rámec.

V páté části je vytvořen návrh přepětíových ochran pro určenou rozvodnu 0,4kV pro TKV. Tyto ochrany jsou detailně rozebrány a navrženy dle požadavků závodu. Vlastní projekt není předmětem zadání, tedy ani této Diplomové práce.

1. Přepětí

Je to takové elektrické napětí v síti, které je vyšší než nejvyšší povolené provozní napětí (nejvyšší napětí pro zařízení).

Časový průběh přepětí:

Podle mezinárodních norem se dělí časový průběh přepětí:

- Trvalá přepětí – Síťová frekvence a konstantní efektivní hodnota.
- Dočasná přepětí – Síťová frekvence a doba trvání je v rozsahu $0,03 < t < 3600$ sekund.
- Přechodné přepětí – Má tlumený oscilační nebo impulzní průběh a trvá řádově milisekundy.
 - S dlouhým čelem (pomalá přepětí)
 - S krátkým čelem (rychlá přepětí)
 - S velmi krátkým čelem (velmi rychlá přepětí)
- Kombinovaná přepětí – Současný výskyt dvou druhů přepětí.

Krátkodobé přepětí dělíme především: LEMP – SEMP – NEMP – ESD

- *Atmosférické přepětí* (LEMP – *Lighting ElektroMagnetic Pulse*) je přechodné přepětí, které vzniká v jakékoliv části sítě v důsledku atmosférického výboje.
- *Spínací přepětí* (SEMP – *Switching ElektroMagnetic Pulse*) je přechodové přepětí v jakémkoliv místě sítě zapříčiněné spínací činností nebo také poruchou.
- *Přepětí vzniklá při výbojích statické elektřiny* (ESD – *ElektroStatic Discharge*)
- *Přepětí způsobená nukleárními výbuchy* (NEMP – *Nuclear ElektroMagnetic Pulse*)

Velikost přepětí se určuje činitelem k . O přepětí se hovoří v případě, že $k > 1$. Činitel k je definován vztahem:

$$k = \frac{\text{max.hodnota napětí vodič-zem}}{\text{max.hodnota nejvyššího napětí vodič-zem}} \quad (1.1)$$

Jmenovatelem je pro trojvodičovou rozvodnou soustavu (izolovaný uzel, vn) hodnota $U > U_m \sqrt{2}$ a pro čtyřvodičovou soustavu (s uzeměným uzlem, nn, vvn) hodnota $U > U_m \sqrt{2}/\sqrt{3}$. [1]

1.1 Atmosférické přepětí (LEMP- Lightning ElectroMagnetic Pulse)

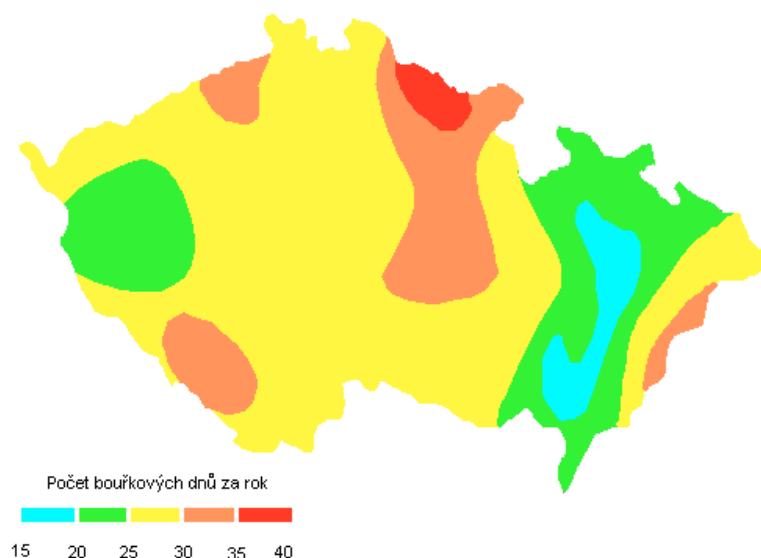
Atmosférická přepětí (LEMP) jsou pro svůj častý výskyt a vysokou obsaženou energii nejnebezpečnější, jsou vyvolaná především bouřkami s výboji blesku. Blesky způsobují požáry a škody na elektrických zařízeních, zraňují a zabíjejí lidi i zvířata. V současné době je koncentrace lidí i techniky daleko vyšší než v minulosti, proto je ochrana proti ničivým účinkům blesku daleko důležitější.

Typy výbojů a jejich vlastnosti:

Blesk je v podstatě atmosférický výboj vyrovnávající elektrické potenciály různě nabitých mraků a země. Blesky rozlišujeme podle směru bleskového výboje:

- Sestupný výboj mrak - země, iniciovaný sestupný leader z mraku do země.
- Vzestupný výboj, kdy leader směřuje ze země směrem k mraku.
- Výboj mezi mraky.

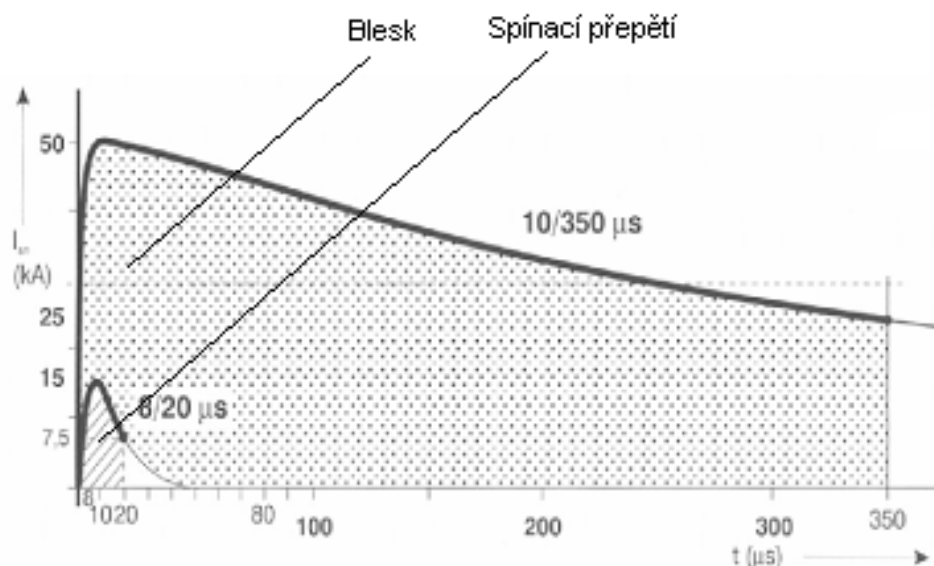
Četnost bouřek závisí na ročním období. V letních měsících v červenci a srpnu je v průměru pětikrát více bouřek než v zimním období. Vznik letních bouřek je podporován ohřevem krajiny sluncem. Na podzim dodává potřebnou energii pro vznik bouřek nad mořem teplá voda v blízkosti pobřeží. Důležitým parametrem, který je uváděn při klasifikaci bouřkové činnosti, je tzv. intenzita bouřkové činnosti, nebo také četnost úderu blesku na km² za rok. V našich zeměpisných šířkách se četnost úderu blesku pohybuje od 2 po 8 úderů na km² za rok, v subtropické až tropické oblasti je to 30 až 70 úderů na km² za rok.



Obr. 1 Izokeraunická mapa ČR

Z hlediska polarity rozlišujeme pozitivní a negativní výboje.

Tvar hlavního krátkého výboje je popsán průběhem s čelem $10\ \mu\text{s}$ a půltýlem $350\ \mu\text{s}$ a amplitudou až $250\ \text{kA}$. Následné krátké výboje mají tvar $0,2/200\ \mu\text{s}$ (mají strmější čelo a kratší týl). Amplituda následných krátkých výbojů dosahuje typicky hodnot do $50\ \text{kA}$. Dlouhý výboj s amplitudami do $400\ \text{A}$ a trvá až $0,5\ \text{s}$. [2]



Obr.2 Tvary poruchových vln 8/20 a 10/350

Tvar vlny bleskového výboje určuje jeho frekvenční charakteristika a tím i jeho indukční účinky – tj. vliv vzdáleného úderu blesku na elektrické a sdělovací rozvody a zařízení. Dlouhý výboj má frekvenční charakteristiku ohraničenou $100\ \text{kHz}$ a nízkým podílem vysokých frekvencí. Hlavní krátký výboj má mnohem vyšší podíl vysokých frekvencí až do hodnot $0,2\ \text{MHz}$. Krátké následné výboje obsahují frekvence až $40\ \text{MHz}$.

Přímý úder blesku – pokud proud bleskového výboje přímo prochází zasaženým objektem, má za důsledek poškození objektu přímým průchodem elektrického proudu včetně zahřátí, zapálení resp. i mechanickými účinky elektromagnetických sil

Do hromosvodu budovy, do bezprostředního okolí budovy, kovové konstrukce, nebo do elektricky vodivých inženýrských sítí (destruktivní účinek bleskového proudu je dán vysokou energií uvolněnou v krátkém okamžiku), který vyvolá:

- Úbytek napětí na zemním odporu, čímž dojde ke zvýšení potenciálu objektu oproti okolí. Vzniklý rozdílový proud představuje největší zatížení elektrických zařízení v objektu.

- Indukované napětí ve smyčkách. Souběžně s úbytkem napětí na zemním odporu vznikají přepětí vyvolaná indukcí elektromagnetického pole atmosférického výboje do elektroinstalace a připojených systému a přístrojů.

Nepřímý úder blesku – zapříčiní poškození objektu elektromagnetickou indukcí do vzdálenosti i několika kilometrů poruchy i poškození elektrických a elektronických zařízení, především zapojených do rozlehlých sítí, ve kterých má indukce větší účinnost. [2]

Vzdálenými úderem se rozumí úder blesku do vzdálených objektů, úder blesku do vedení vysokého napětí, popřípadě výboj mrak – mrak v bezprostředním okolí uvažovaného objektu. Jedná se o:

- úder blesku do venkovních vedení
- vlny přepětí následující po výboji mrak-mrak, nebo po úderu blesku v blízkosti vedení
- napětí indukované z kanálu bleskového výboje

1.2 Druhy ochran před bleskem

Většina zdrojů přepětí jsou blesky. Blesky dělíme na blízké i vzdálené až do vzdálenosti několika kilometrů. Dále musíme brát na zřetel četnost jednotlivých elektrických zařízení a soustav – spínání, poruchy, dále také vlastní funkce daných zařízení. O nebezpečném přepětí uvažujeme tehdy, pokud tento stav způsobí poruchu funkce zařízení, nebo pokud je poškozena izolační odolnost materiálu zařízení a dojde k průrazu. V jiném případě může velikost přepětí převýšit přeskokové napětí mezi jednotlivými částmi zařízení a dojde k přeskoku jiskry.[2]

1.2.1 Požadavky předpisů

Normy požadují zajištění bezpečnosti osob, hospodářských zvířat, techniky a majetku dle současných znalostí s tím, že rizika, u kterých je to možné, se potlačí na přijatelnou úroveň. Tyto požadavky zajišťuje soubor norem ČSN EN 62 305.

Tyto normy popisují obecné zásady pro:

- Vnější ochrana před bleskem – Klasická hromosvodní ochrana, norma požaduje vyvedení dovnitř budovy pro potřebu potenciálního vyrovnání na ekvipotenciální přípojnicí.

- Vnitřní ochrana před bleskem – Jsou opatření uvnitř budovy k zabránění nekontrolovanému vzniku přeskoků a průrazů (včetně uvnitř připojených elektrických zařízení).
- Potenciálové vyrovnaní – Soubor vnitřních ochran před bleskem, zahrnující jednak přímé pospojování neživých kovových částí a dále připojení živých vodičů přes svodiče přepětí. [5]

1.2.2 Vnější ochrana před bleskem

Úkolem ochrany proti blesku je zachytit a odvést za co nejkratší čas bezpečně elektrický náboj přivedený bleskem při přímém úderu, nebo indukci a zabránit vzniku velkých rozdílových potenciálů a vzniku elektrických výbojů a průrazů v rámci objektu. K tomu nás slouží vnější ochrana- která se skládá ze systému jímačů, svodů spojených s uzemněním.

Systém jímačů a mřížové (neboli hřebenové) soustavy instalované na chráněném objektu vytváří ochranný prostor zabraňující přímému úderu blesku do stavební konstrukce objektu. Dále můžeme využít oddáleného hromosvodu, který vytváří ochranný prostor mimo chráněný objekt.

1.2.2.1 Druhy ochrany před bleskem – třídy LPS (Lightning Protection System)

Tento systém snižuje škody, které způsobuje úder blesku. Obsahuje vnější i vnitřní část. Vnější část je popsána v předchozí kapitole 1.2.2. Vnitřní část je popsána v kapitole 1.2.3

Pokud chceme určit návrh na ochranu před bleskem, musíme určit požadovanou úroveň před bleskem. Podle požadované úrovně ochrany LPL (Lightning Protection Level) navrhujeme rozsah a parametry systému ochrany před bleskem. Norma ČSN EN 62305-3 definuje čtyři třídy systémů ochrany před bleskem I až IV (v IEC typu). Některé z parametrů systému jsou nezávislé na třídě LPS – jsou to parametry použitých prvků ochrany (vlastnosti vodičů pro vyrovnaní potenciálů, průměr a tloušťka svodů, jímačů). Zvolená úroveň ochrany závisí na předpokladu parametrů blesku. Z toho se určí počty a rozmístění svodů, jímačů, bezpečné vzdálenosti a minimální délka zemnicích elektrod.

Aby byl navrhovaný systém ochrany ekonomický, musí se jeho projekce koordinovat s projekcí konstrukce budovy a jednotlivých technických systémů. Projekční dokumentace v tom případě musí být rozsáhlá natolik, aby umožňovala úplnou instalaci kompletního systému v návaznosti na stavbu a jiné systémy.

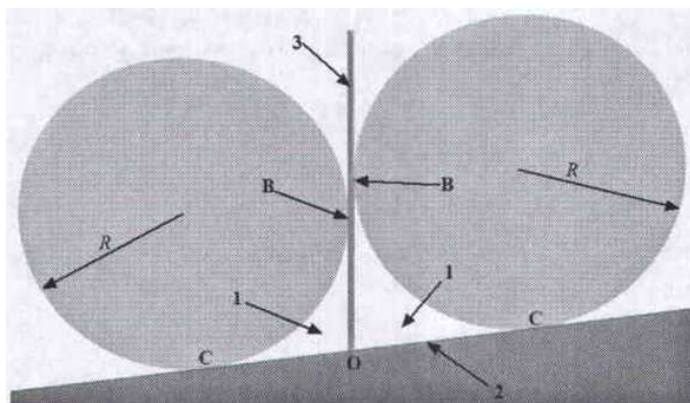
Proto účelem vnější ochrany před bleskem je zachytit a odvést bleskový výboj směřující na objekt a zabránit tak tepelným či mechanickým škodám a tím pádem vzniku jiskření (přeskoky jisker), které založí požár. Vnější LPS je ve většině případů přímo spojený s chráněným objektem. Pokud ale hrozí velké nebezpečí požáru a výbuchu je LPS instalován izolovaný tj. nespojený s objektem (objekty z vysoce hořlavých materiálů a s nebezpečím výbuchu). Přeskoku jisker mezi vodivými částmi objektu a LPS se zabrání dostatečnou vzdáleností, izolací, nebo pospojením vodivých částí s LPS.

1.2.2.2 Jímače

Jímače slouží k zachycení blesků a všech elektrických výbojů. Mohou být tyčové, kde jsou jímače umístěny na hřebeni střechy, nebo vodičové, kdy jímače vytvářejí plošný jímací systém. Dále existují jímače mřížové, která obsahuje soustavu jímacích lan, které nad plochou např. střechou vytvoří mříž. Metoda mřížové soustavy je vhodná pro ochranu rovinných ploch.

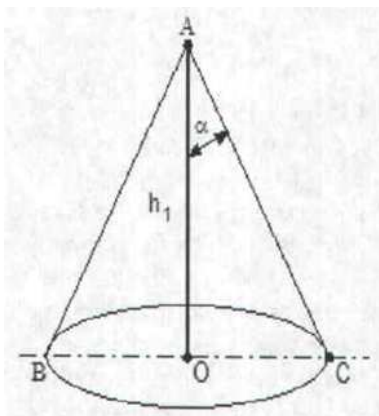
Jímače lze umístit z daných kritérií:

- **Metoda valící se koule** – Dle normy ČSN EN 62305-3, která uvádí, že je vhodná pro všechny typy objektů. Vychází z příkladu, že chráněný prostor vymezuje objem mezi koulí a jímačem (reps. Zemí), o který se koule opírá (obr.3). Valící se koule přes objekt ve všech směrech nakonec vymezí místa, kde se koule dotýká ne jímače, ale přímo objektu a zde je potřeba vhodný jímač doplnit.



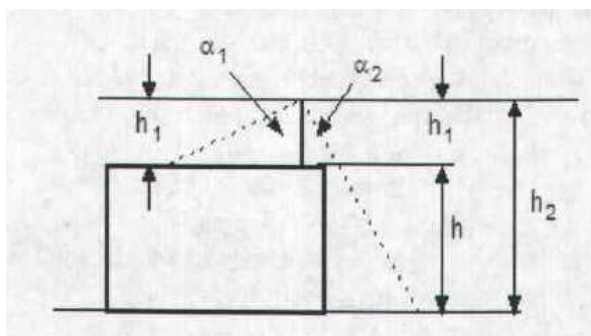
Obr.3 Vymezení ochranného prostoru tyčového jímače metodou valící se koule

- **Metoda ochranného úhlu** - Je vhodná pro jednoduché objekty a je omezena maximální výškou jímače – chráněný prostor vymezuje kužel s úhlem α u vrcholu (obr.4), úhel je závislý na výšce jímače (obr.5). V případě použití zavěšeného lana – vodiče můžeme použít metodou ochranného úhlu (obr.6). U sítě vytvořené soustavou zavěšených vodičů je chráněný prostor vymezený kombinací chráněných prostorů jednotlivých vodičů tvořící síť.



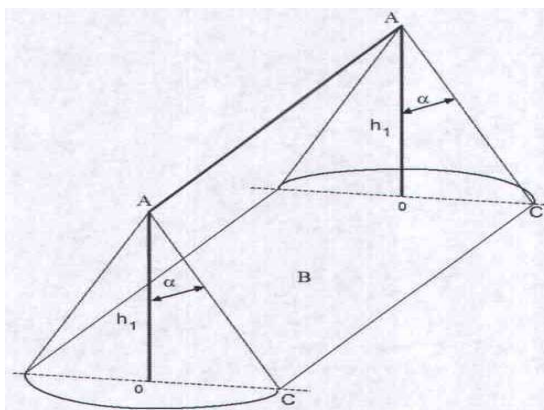
Obr.4 Vymezení pracovního prostoru tyčového jímače metodou ochranného úhlu

h_1 - výška jímače, A-špička jímače, O - pata jímače, α - ochranný úhel pro danou výšku, BOC - referenční rovina



Obr.5 Vymezení pracovního prostoru tyčového jímače na ploché střeše metodou ochranného úhlu

h_1 - výška jímače nad střechou, h_2 - výška jímače nad terénem, α - ochranný úhel pro danou výšku $h_{1,2}$



Obr.6 Vymezení ochranného prostoru zavěšeného lana metodou ochranného úhlu

h_1 - výška jímače, A- špička jímače, O- pata jímače, α - ochranný úhel pro danou výšku, BOC - referenční rovina

➤ Metoda mřížového jímače

Mříž s maximální velikostí oka určeného úrovní ochrany LPL musí být zhotovena tak, že každý horizontální vodič má pokračování ve svodu, který vede co nejkratší cestou do země. Jednotlivé vodiče jímací mříže jdou po vnější vrchní hraně objektu, po převisech a po hřebenu střechy s malým sklonem nepřekračujícím 1/10. U střech s vnějším sklonem se používají rovnoběžné vodiče vedoucí od hřebene ke svodům ve vzdálenostech odpovídajícím oku mříže.

1.2.2.3 Svody

Jejich úkolem je, aby co nejkratší možnou cestou odvedly náboj bleskového výboje do země. To se odehrává v několika paralelních trasách. Na úrovni země mají být spojeny s okružním vedením vyrovnání potenciálů – je vhodné tak udělat i každých 10 až 20 m výšky. Čím větší je počet svodů, tím menší je dostatečná vzdálenost a proto i jednodušší montáž vnitřních systémů. Typické vzdálenosti svodů pro jednotlivé úrovně LPL jsou uvedeny v tabulce 1-1.

Tab.1-1 Parametry jednotlivých tříd LPS[2]

Metoda	Valící se koule	Mříž	Všechny metody
Třída LPS	Poloměr R (m)	Velikost oka (m)	Typická vzdálenost svodů v (m)
I	20	5 x 5	10
II	30	10 x 10	10
III	45	15 x 15	15
IV	60	20 x 20	20

U oddáleného LPS s jímači umístěnými na stožárech má každý jímač jeden svod. V případě, že je stožár kovový, není strojený svod potřebný. U neoddálených LPS jsou požadovány nejméně dva svody na každý objekt, rozmístěné rovnoměrně po obvodu objektu. Svody by měly být umístěné na každém rohu objektu, kterém je to možné. Jednotlivé jímače musí být na úrovni střechy pospojeny okružním vodičem pro co nejrovnoměrnější rozdělení proudů.

Svody mříží nejkratší možnou cestou k zemi tak, aby netvořily smyčky. V případě že se tomu nedá vyhnout, musí být vzdálenost každých dvou bodů na svodu bezpečná vzhledem k délce smyčky, která je propojuje. Tím se zamezí přeskoku jisker na smyčce. Svod může být umístěn přímo na zdi z nehořlavého materiálu. Jako náhodné svody se mohou použít kovové konstrukční a instalační prvky, pokud je jejich spojení trvalé a jejich průřez splňuje hodnoty požadované v tabulce 2 a tloušťka kovových trubek nebo plechů je min. 0,5 mm. Na každém svodu musí být umístěna **Zkušební svorka**, která je rozpojitelna pouze s použitím nářadí. Na náhodných svodech spojených se zemnicem se zkušební svorka nezřizuje.[2]

1.2.2.4 Uzemnění

Slouží k rozvedení bleskového proudu v zemi a přitom se redukuje nebezpečné přepětí. Požadavky na uzemnění a pospojování nám předepisuje norma ČSN 33 2000-5-54. Obecně se doporučuje co nejnížší zemní odpor (menší než 10 ohmů). Maximální hodnoty odporů uzemnění předepisují normy ČSN EN 62 305. Uzemnění musí být vhodně spojeno se systémem potenciálového vyrovnání.

Rozlišujeme dva základní druhy uzemnění:

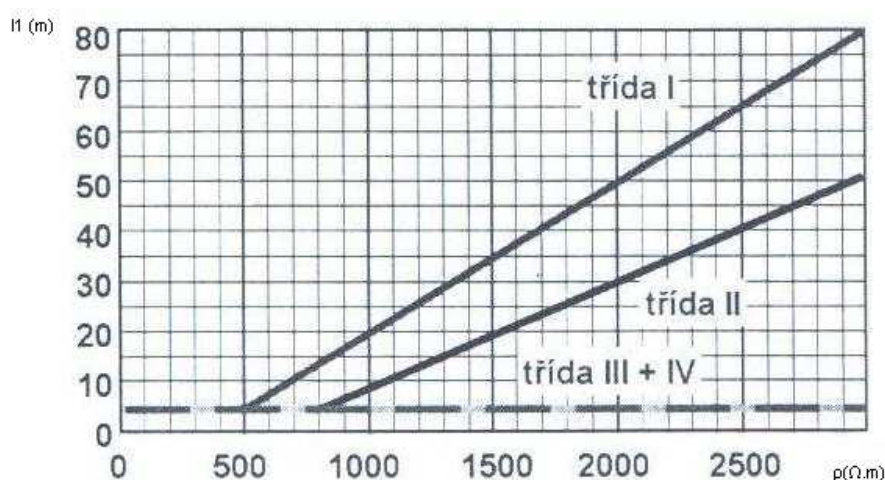
➤ **Zemnič typu A**

Toto uspořádání se skládá z vodorovného nebo svislého zemniče, instalovaného vně chráněné stavby, který je spojen s každým svodem. Minimální počet zemničů jsou dva. Minimální délka zemniče l_1 je závislá na třídě LPS a rezistivitě půdy $\rho(\Omega.m)$. Minimální délka nemusí být dodržena, je-li zemní odpor uzemnění menší než 10 Ω .

Minimální délka každého zemniče je:

- l_1 pro vodorovný zemnič
- $0,5 \cdot l_1$ pro svislý (tyčový) zemnič

Minimální délka zemniče se určí z následujícího obrázku 6.



Obr.7 Závislost délky zemničů na rezistivitě půdy a třídě LPS

Kde: l_1 - je délka zemniče, ρ - je rezistivita půdy

Třídy LPS III a IV nejsou závislé na rezistivitě půdy.

➤ Zemnič typu B

Toto uspořádání sestává buď z okružního zemniče vně objektu, nebo ze základového zemniče. U tohoto zemniče nesmí být střední poloměr r_e plochy, která je odvozena od okružního nebo základového zemniče, menší než l_1 , kde l_1 je délka zemniče dle Typu A.

$$r_e = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (1.2)$$

kde $A [m^2]$ - plocha vytvořená obvodem okružního nebo základového zemniče

Je-li požadovaná hodnota l_1 větší, než odpovídající hodnota r_e , musí být dodatečně instalován vodorovný nebo svislý zemnič. Skutečná délka pro vodorovný zemnič je

$$l_r = l_1 - r_e \quad (1.3)$$

a pro svislý (tyčový) zemnič je

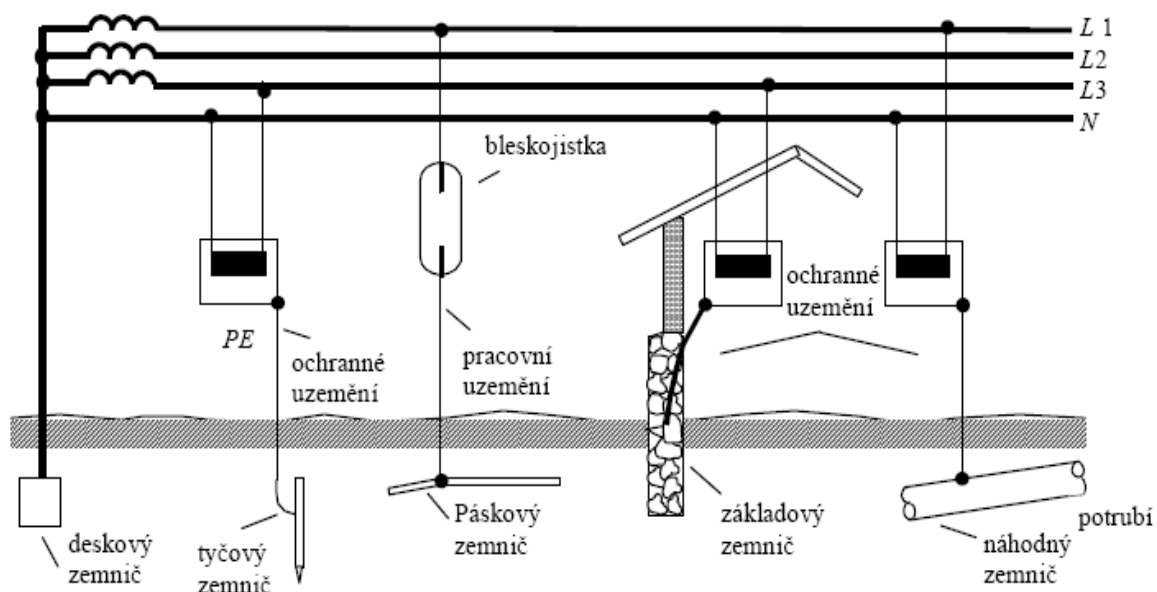
$$l_v = \frac{(l_1 - r_e)}{2} \quad (1.4)$$

Počet dodatečných zemničů nesmí být menší, než počet hlavních svodů.

Zemnič Typ A musí být uložen v zemi minimálně 0,5 m pod povrchem mimo chráněný objekt a pokud možno co nejrovnoměrěji rozdělen. Zemnič Typ B by měl být uložen v hloubce minimálně 0,5 m v zemi a ve vzdálenosti asi 1,0 m od vnějších zdí objektu. Jako náhodného zemniče by mělo být přednostně použito vzájemné spojené ocelové armování v základovém betonu, nebo jiné podzemní části z kovu. [4]

Druhy zemničů:

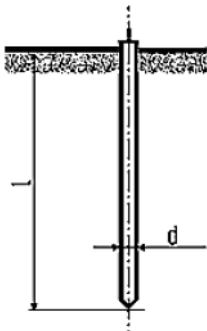
- tyčové nebo trubkové
- pásové nebo drátové
- deskové (nedoporučují se)
- základové (podzemní stavební sítě zabudované v základech)
- kovové výztuže betonu vložené v zemi



Obr.8 Příklady zemničů[5]

Výpočty zemničů:

➤ Tyčový zemnič

	Zemní odpor [Ω] (vzorec exaktní)	Podmínky použití	Zemní odpor [Ω] (vzorec pro přibližný odhad)	Podmínky použití
	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$	$l \gg \frac{d}{2}$	$R = 0,9 \frac{\rho}{l}$	$l \gg \frac{d}{2}$ v rozmezí $l = 1$ až 3 m

➤ Pásový nebo drátový vodič

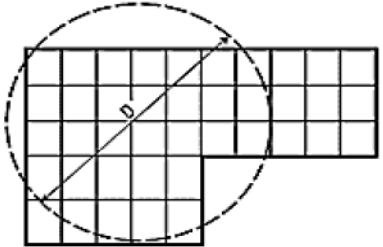


Poznámka: Pro páskový vodič šířky b :

$$d = \frac{b}{2}$$

Zemní odpor [Ω] (vzorec exaktní)	Podmínky použití	Zemní odpor [Ω] (vzorec pro přibližný odhad)	Podmínky použití
$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{l}{2z} \right)$	$l \gg d$ $z \ll \frac{l}{4}$	$R = 2 \frac{\rho}{l}$	$l \gg d$ $z \ll \frac{l}{4}$ v rozmezí $l = 10$ až 50 m

➤ Mřížová síť

	Zemní odpor [Ω] (vzorec pro přibližný odhad)	Poznámka
	$R = \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{l}$	Pro síť nekruhového tvaru o ploše S $D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$

Tab.1-2 Střední hodnoty rezistivity půdy[4]

Druh zeminy	Střední rezistivita ρ [Ω.m]
Rašelina	30
Ornice, jíl	100
Vlhký písek	200 až 300

Výpočet rezistivity půdy:

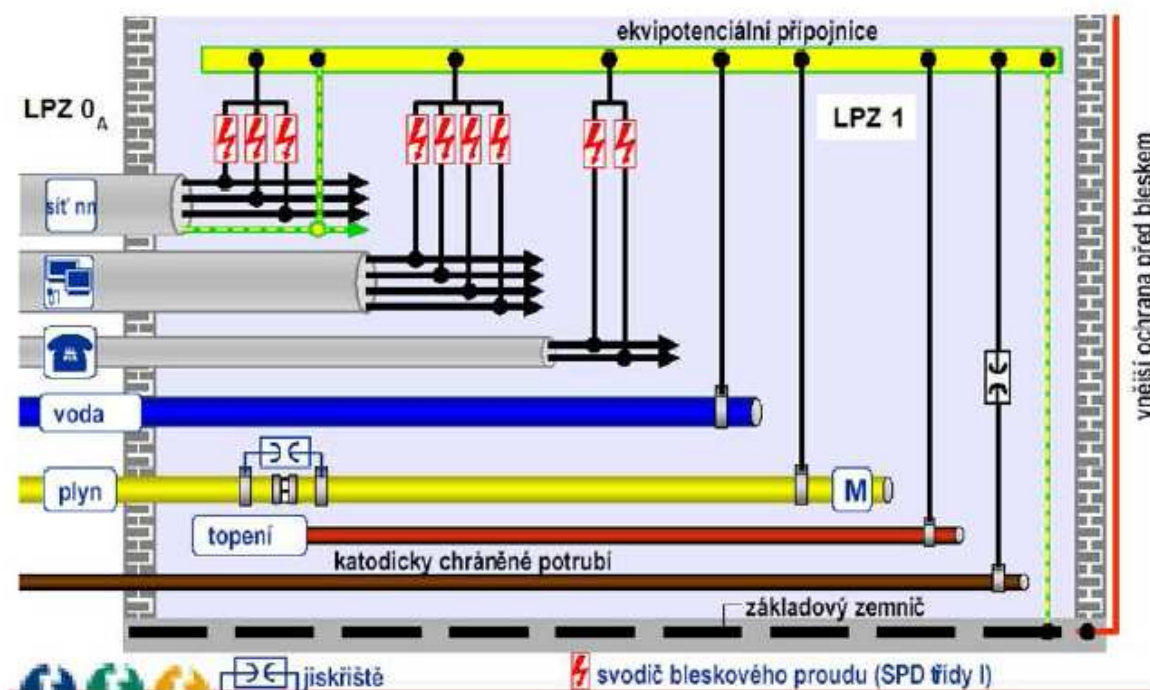
$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot \frac{\Delta U}{I} \quad (1.5)$$

Kde: ρ je měrný odpor půdy ΔU napětí naměřené mezi napěťovými elektrodami (V) I proud protékající proudovými elektrodami (A) a rozteč mezi elektrodami (m)

1.2.2.5 Ekvipotenciální pospojování v ochraně před bleskem

Vyrovnaní rozdílných potenciálů vytvořených průtokem bleskového proudu zabraňuje nebezpečným přeskokům jisker a vzniku požáru. Dosáhne se tím, že LPS se spojí s kovovou konstrukcí objektu, s kovovými instalacemi, s vnějšími vodivými částmi a vedení, které je spojeno

s objektem a s elektrickými a elektronickými systémy uvnitř chráněného objektu. V tomto případě musíme uvažovat s tím, pokud se provede vyrovnání potenciálů LPS s vnitřním systémem, může část bleskového proudu téct dovnitř systému a na tuto skutečnost je třeba brát ohled. Kovové části objektu a instalace bez vlastního potenciálu se spojují s přípojnici vyrovnání potenciálu přímo, vodiče přenášející energii nebo signál se spojí pomocí svodičů SPD (Surge Protective Device).



Obr.9 Příklad systému vyrovnání potenciálů[3]

Vyrovnání potenciálů bleskových proudů pro vnější vodivé části

U vnějších vodivých částí se provádí vyrovnání potenciálu co nejbližší jejich vstupu do objektu. Doporučuje se podle možnosti naplánovat vstup vnějších vodivých instalací v jednom místě. U vedení, která nemohou být přímo spojena s uzemněním, použijeme SPD zkušenoého podle předpisů pro SPD typ 1 proudem I_{IMP} , který předpokládáme v daném místě, s ochranou úrovní U_p , která je nižší než průrazné impulzní napětí izolace mezi vodivými částmi.[3]

Tab.1-3 Minimální rozměry vodičů, které spojují mezi sebou sběrnice vyrovnání potenciálů nebo uzemňovací soustavu

třída LPS	materiál	průřez (mm ²)
I - IV	měď	14
	hliník	22
	ocel	50

- U oddáleného vnějšího LPS se dá provést vyrovnání potenciálu bleskového proudu pouze ve výšce terénu.
- U neoddáleného vnějšího LPS se dá provést vyrovnání potenciálu bleskového proudu na následujících místech:
 - v suterénu, nebo ve výšce terénu
 - tam, kde nejsou splněny požadavky na izolaci, tj. není dostatečná vzdálenost kovových částí od LP

1.2.3 Vnitřní ochrana před bleskem a přepětím

Vnitřní ochranu před bleskem tvoří souhrn opatření ke snížení účinků elektromagnetických impulzů způsobených bleskovým proudem (LEMP, SEMP, hybridní EMP - NEMP) uvnitř chráněného objektu.

Mezi tato opatření vnitřní ochrany patří vyrovnání potenciálu, odstínění budov, místností a prostorů, odstranění nebezpečných přiblížení a souběhů vyrovnání potenciálů, jehož nedílnou součástí je i účinná ochrana proti přepětí. Svodiče bleskových proudů a přepětí, jako prvky vnitřní ochrany, připojují silová elektrická zařízení k ekvipotenciální přípojnici nepřímo přes jiskřiště a varistory a omezují přepětí.

Základem pro realizaci vnitřní ochrany před účinky blesku a přepětí je vyrovnání potenciálu, tj. připojení veškerých neživých kovových částí k ekvipotenciální přípojnici. Tím se omezí vznik napěťových rozdílů v elektrické instalaci nad příslušnou mez a následné nežádoucí vyrovnání potenciálů průrazem nebo výbojem a případných ztrát výpadkem jejich provozu.

Instalace přepětěvých ochran je především prevence proti možným škodám. Náklady na přepětěvé ochrany jsou pouhým zlomkem procenta pořizovací hodnoty chráněné techniky.

1.3 Přepět'ová ochranná zařízení - SPD (Surge Protective Device)

Je to speciální elektrický přístroj fungující jako napětím řízený ventil. Omezuje přepětí na bezpečnou míru pro chráněné zařízení. Nazýváme ho **svodičem přepětí**. Toto zařízení obsahuje alespoň jeden nelineární prvek (bleskojistka, omezovač přepětí, jiskřiště, apod.) s nelineární volt-ampérovou charakteristikou, které ochraňují elektrická zařízení a přístroje před vysokým přepětím.[5]

1.3.1 Zóny ochrany před bleskem LPZ (Lightning Protection Zone)

Norma ČSN EN 62305-4 detailně definuje z hlediska přímého a nepřímého účinku blesku (obr. 10)[2]

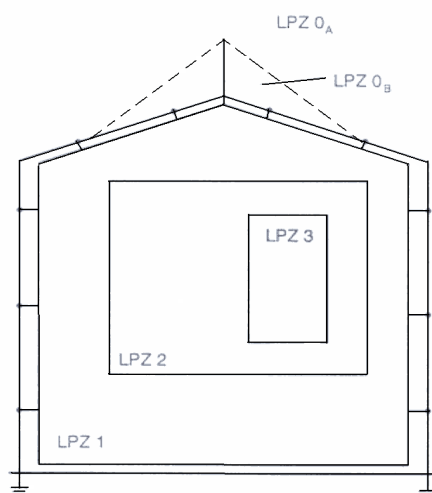
LPZ 0_A – venkovní nechráněné prostředí, možnost přímého úderu blesku, netlumený LEMP (elektromagnetický pulz blesku)

LPZ 0_B – venkovní prostředí v ochranném prostoru jímáče hromosvodu (ochrana před přímým úderem blesku), netlumený LEMP

LPZ 1 – vnitřek objektu, vyloučený přímý úder blesku, tlumený LEMP (v závislosti na stínění)

LPZ 2 – vnitřek místnosti – např. serverovna s vodivou podlahou, FeAl podlahy a obklady zdí (další útlum LEMP v souvislosti s vyšším stupněm odstínění)

LPZ 3 – vnitřek kovové skříně, např. rozváděče



Obr.10 Znáznornění objektu s vnější ochranou proti blesku a jednotlivých zón LPZ

Obdobně jsou stanoveny EMC ochranné zóny EMC OZ1 → EMC OZ3.

1.3.2 Svodiče přepětí

Svodiče přepětí (přepět'ová ochranná zařízení – SPD) slouží pro ochranu elektrických zařízení a spotřebičů před účinky krátkodobých přepětí, která se vyskytují v důsledku atmosférických výbojů a při spínacích pochodech v průmyslových zařízeních. Pro účinnou ochranu vnitřních instalací se svodiče přepětí řadí do kaskády (tzv. koordinovaná ochrana), přičemž každý ze tří stupňů kaskády redukuje energii přepět'ové vlny na přijatelnou mez.

Rozeznáváme tři typy přepět'ového ochranného zařízení:

- **SPD typ 1:** svodiče s vysokou energetickou účinností, schopné svádět i bleskové proudy
- **SPD typ 2:** svodiče schopné svádět pulzní přepětí o střední energii
- **SPD typ 3:** svodiče sloužící k ochraně jednotlivých spotřebičů nebo skupin spotřebičů před pulzním přepětím a připojovaném k zásuvkám, fungují jako ochrana přístrojů před nízkoeenergetickými tranzienty

Tab.1-4 Označení přepět'ových ochran

<i>EN</i>	<i>IEC</i>	<i>VDE</i>
SPD typ 1	char.1	třída B
SPD typ 2	char.2	třída C
SPD typ 3	char.3	třída D

1.3.2.1 Třídy svodičů přepětí

➤ Typ 1

V tomto případě se jedná o svodiče bleskového proudu. Jsou určeny ke svedení vysoké energie atmosférického výboje a současně zajišťují vyrovnávání potenciálu v případě přímého úderu blesku do instalace. Doporučují se jako ochranné prvky u elektrických instalací vystavených přímému úderu blesku (např. instalací chráněných hromosvody nebo napájenými z nadzemního vedení). Instalují se na vstupu instalace (např. v hlavním distribučním rozváděči).

Ochranu zajišťují svodiče bleskových proudů, které zachycují největší podíl přepět'ové vlny a jsou schopné svést bleskové proudy. Jsou to speciální jiskřiště zkoušené bleskovým proudem 10/350 μ s. Úkolem těchto svodičů je svádět bleskové proudy při počátečním a blízkém úderu blesku.

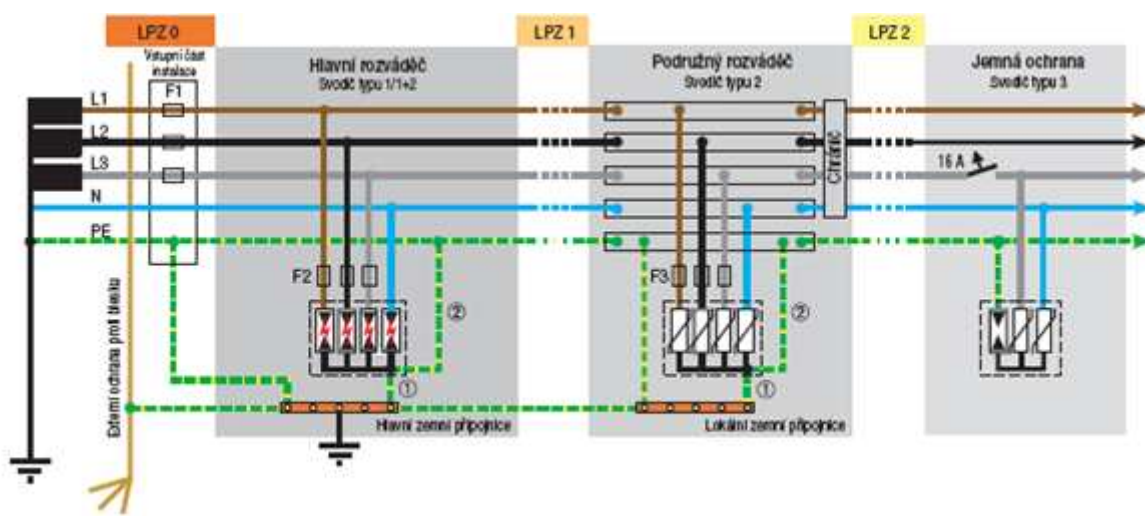
➤ Typ 2

Zde se jedná o svodiče přepětí určené ke svedení nižších energií, které vzniknou při vzdáleném úderu blesku nebo jsou způsobeny spínacími operacemi. Tyto svodiče nejsou schopny zvládnout velké energetické impulzy způsobené přímým úderem blesku, jako je tomu u typu 1, avšak mají lepší ochrannou napěťovou úroveň. Svodiče přepětí typu 2 jsou doporučovány jako ochranné prvky na vstupu instalací, které nejsou v žádném případě ohroženy přímým úderem blesku.

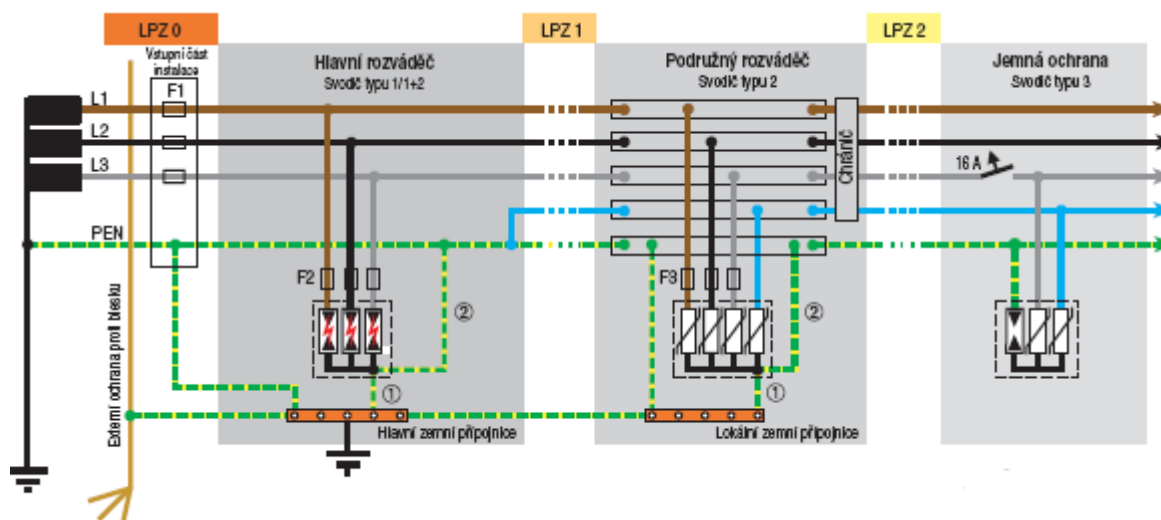
Tyto svodiče odvádí propuštěnou energii prvním stupněm. Ochrana je konstruována na bázi varistorů, které svádí atmosférické nebo spínací (spínací pochody v síti) přepětí. Reagují plynule na libovolné velikosti přepětí a vykazují téměř nulové následné proudy.

➤ Typ 3

Svodiče přepětí typu 3 představují jemnou ochranu, která se instaluje za svodiče typu 1+2 nebo typu 2, v blízkosti citlivého zařízení, které vyžaduje velmi nízkou ochrannou napěťovou úroveň. Základním prvkem jsou varistory a supresorové diody. [6]

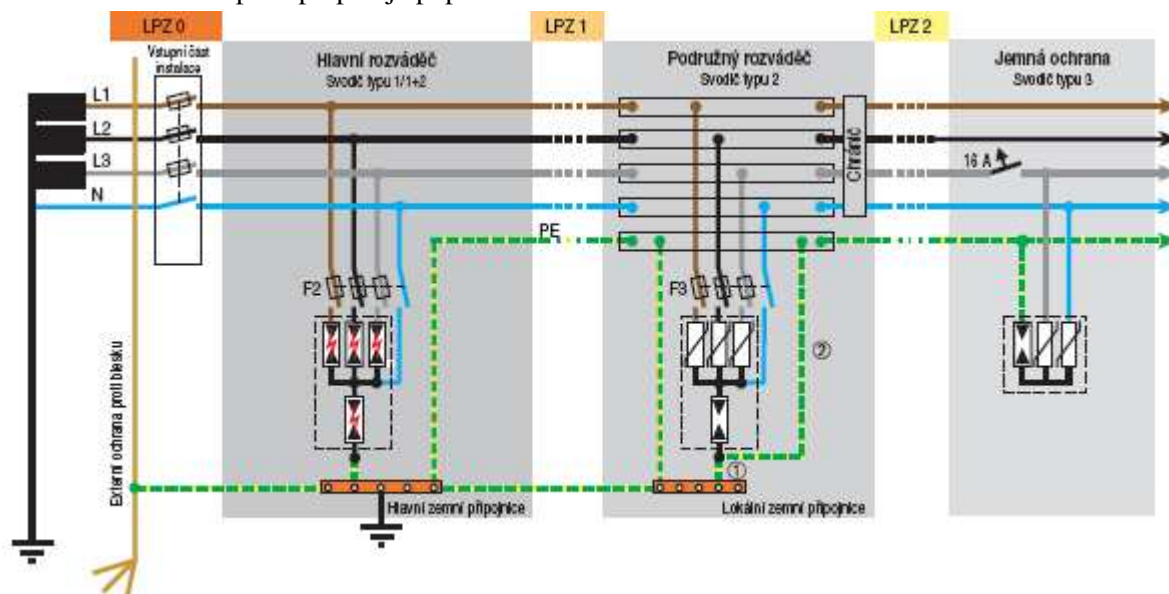


Obr.11 Systém třístupňové ochrany v síti TN-S[6]



Obr.12 Systém třístupňové ochrany v síti TN-C-S[6]

Instalace svodičů proti přepětí je popsána v normě ČSN 33 2000-5-534 a v ČSN 33 2000-5-54.



Obr.13 Systém třístupňové ochrany v síti TT[6]

Rozhodující parametry pro výběr svodiče jsou:

- maximální přípustné provozní napětí
- jmenovitý impulsní proud svodičem
- ochranná úroveň

Dalším důležitým kritériem pro nasazování ochrany je provedení sítě, ve které mají být ochrany instalovány. Počet svodičů a jejich zapojení se liší pro síť TN-C, TN-S, TT a IT.

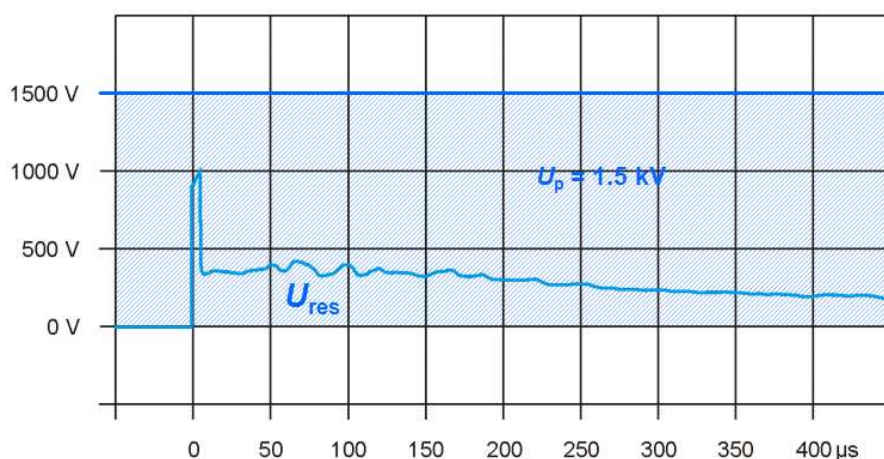
Přitom je třeba vždy respektovat:

- vhodné zapojení předjištění svodičů pro zamezení následných proudů ze sítě nn
- vhodné zapojení proudových chráničů v sítích
- zajištění koordinace svodičů impedancemi tvořenými délkou vedení nebo omezovacími (podélnými) tlumivkami

1.3.2.2 Princip činnosti SPD**➤ SPD typ 1 - hrubá ochrana**

Jediným konstrukčním prvkem, který opakovaně zvládá zkušební proudovou vlnu 100kA ve tvaru vlny 10/350 μ s, je jiskřiště.

Jiskřiště je napěťově závislý nelineární prvek pracující na principu elektrického výboje v plynném prostředí. Obvykle se používá ve dvojpólovém nebo trojpólovém provedení a vyznačuje se tím, že pokud je hodnota napětí připojeného na jeho svorky nižší než hodnota **tzv. zapalovacího nebo též aktivačního napětí**, na mezeře mezi elektrodami naměříme vysokou impedanci blížící se nekonečnu. Pokud napětí na svorkách jiskřiště překročí hodnotu zapalovacího napětí, dojde k ionizaci prostředí a mezi póly jiskřiště se vytvoří obloukový výboj. Tím dojde ke skokové změně impedance mezi póly jiskřiště na nízkou hodnotu blízkou nule. Hodnota napětí na jiskřišti se skokově sníží na hodnotu **tzv. obloukového napětí**. Tento stav trvá do té doby, než hodnota proudu tekoucí jiskřištěm neklesne pod **tzv. kritickou nebo též přídržnou hodnotu**. Pak dojde vlivem nestabilního režimu obloukového výboje k jeho zhasnutí a k obnovení nevodivého stavu. Pokud je jiskřiště zapojeno do obvodu překračujícího jeho schopnost zhaset tzn. zhasací výboj, může dojít k trvalému hoření oblouku mezi elektrodami. Dle konstrukce „zvládá“ jiskřiště impulsní proudy od jednotek do desítek kA opakovaně.



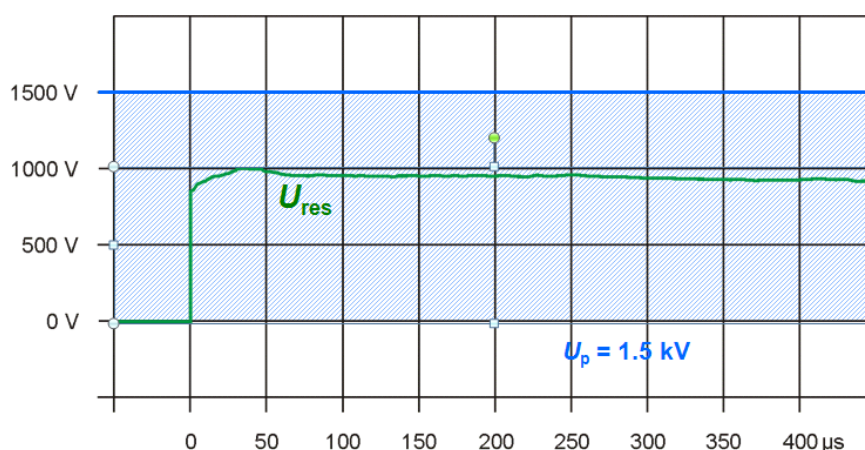
Obr.14 Odezva jiskřiště na rázovou vlnu

➤ SPD typ 2 – střední ochrana

Jako konstrukční prvek přepět'ové ochrany Typ 2 se v přepět'ových ochranách používají téměř výhradně tzv. **varistory**.

Varistor je napět'ově závislý nelineární prvek pracující na principu skokové změny impedance ve hmotě vyrobené lisováním a spékáním práškové směsi složené z oxidů zinku nebo křemíku. Přesto, že varistory fungují na zcela jiném fyzikálním principu než jiskřiště, z elektrického hlediska je jejich chování podobné jako u jiskřiště. Pokud je hodnota napětí na jeho svorkách nižší než tzv. kritická hodnota napětí, chová se varistor jako „rozpojený“. Při dosažení kritického napětí se začne ve varistoru lavinovým způsobem zvyšovat hodnota protékajícího proudu, což vede k výraznému zvyšování teploty tzv. lokálních mikrooblastí. To má za následek další lavinovitý nárůst proudu tekoucího varistorem až do stavu „otevřeno“. Hodnota napětí na otevřeném varistoru výrazně poklesne pod hodnotu kritického napětí. Tento stav trvá do té doby, než hodnota napětí na varistoru neklesne.

V některých případech nelze z důvodu vysoké hodnoty parazitní kapacity varistory použít např. v přepět'ových ochranách pro videotechniku, kde je požadována značná šířka přenášeného kmitočtového pásma chráněného signálu. V těchto případech se používají speciální výkonové polovodičové prvky tzv. transily nebo trisily.



Obr.15 Odezva varistoru na rázovou vlnu

➤ SPD typ 3 – jemná ochrana

Základním prvkem jemné ochrany jsou varistory v odůvodněných případech také supresory. Základ diody jsou rychlé Zenerovy diody s extrémně vysokou strmostí pracovní V-A charakteristiky. Vynikají rychlou odezvou na příchozí přepět'ový impuls, který je řádově v nanosekundách. Tato ochrana se doporučuje instalovat těsně před chráněné spotřebiče bez dlouhého elektrického vedení od ochrany ke spotřebiči. V případě, že by za posledním stupněm bylo dlouhé

vedení ke spotřebiči, mohlo by se ve vodičích zvýšit napětí (např. indukčností) nad přijatelnou úroveň. Je-li délka vedení mezi typem 2 a 3 menší než 5 metrů, není nutno typ 3 použít. Ochranu dostatečně zajistí svodič přepětí typ 2.[10]

1.4 Provozní přepětí

Je přechodně zvýšené napětí způsobené obvykle náhlou změnou stavu sítě (např. při provozních spínáních, zemních spojeních, zkratech, při provozování vedení vvn naprázdno - Ferrantinův jev, při zapínání a vypínání vypínačů a odpojovačů).

Provozní stavy přepětí se projevují zejména u rozvodu vysokého napětí, kde vedení tvoří značnou kapacitu, tedy zejména u kabelových vedení. Toto přepětí se projevuje při zapínání, ale hlavně při vypínání těchto vedení. Dále o hodnotě výše napětí rozhoduje i rychlost vypínání, kdy při vyšší rychlosti vypínání se na zařízení projevuje i vyšší přepětí.[1]

Obdobně se projevují u spínacích obvodů u výkonových instalací.

1.4.1 Spínací přepětí

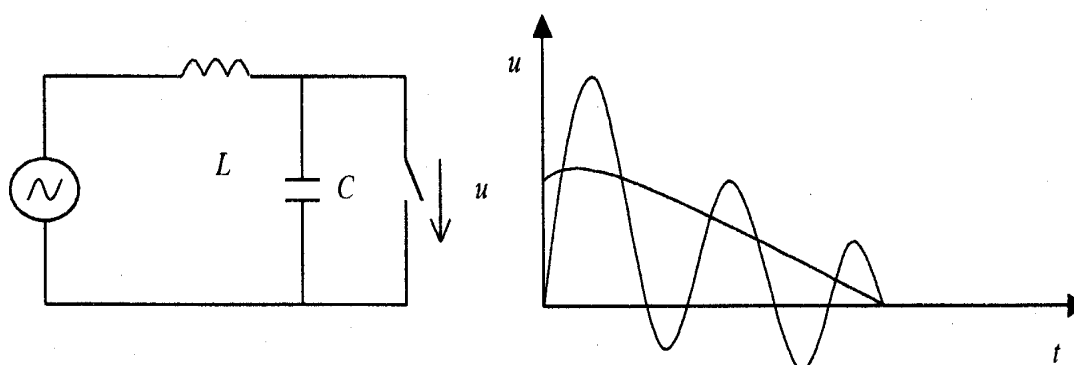
Přechodové jevy způsobené spínáním v síti mohou být rozděleny na přechodové jevy spojené s:

- většinou spínacích rušení v rozvodné síti, jako je spínání kondenzátorové baterie
- většinou spínacích činností v blízkosti přístrojového vybavení nebo se změnami v distribuční síti
- rezonančními obvody ve spojení se spínacími prvky, jako jsou tyristory
- různými síťovými poruchami, jako jsou zkraty a zemní spojení způsobující oblouk na uzemňovací systém instalace

1.4.1.1 Vypínání zkratu v nule proudu

Zjednodušené náhradní schéma obvodu pro tento příklad je na Obr. 16. Indukčnost představuje celkovou indukčnost obvodu, odpor se zanedbává. Kapacita je průměrnou kapacitou kontaktů vypínače. Řešení obvodu dá pro vypnutí vypínače v nule proudu rovnici:

$$L \frac{di}{dt} + u = U_{\max} \cos(\omega t) \quad (1.6)$$



Obr.16 Schéma a průběh napětí na vypínači při vypnutí zkratu

Pro počáteční podmínky $u(0) = 0$ a $u'(0) = 0$ má při označení ω_0 napětí průběh:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \text{ a } u = U_{\max} \cdot (\cos(\omega \cdot t) - \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi)) \quad (1.7)$$

Při tom platí $A=1$ za podmínky splněné v reálném obvodu:

$$\omega_0 \gg \omega \text{ přičemž } A = \frac{1}{\left(1 + \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \quad (1.8)$$

Průběh napětí lze tak jednoduše popsat vztahem:

$$u = U_{\max} \cdot (\cos(\omega \cdot t) - \cos(\omega_0 \cdot t)) \quad (1.9)$$

Toto napětí se nazývá jako tzv. **ZOTAVENÉ NAPĚTÍ** a část výrazu $U_{\max} \cdot (\cos(\omega \cdot t))$ představuje **obnovené napětí**. Z analýzy vztahu je zřejmé, že nejvyšší možná hodnota napětí je $2U_{\max}$.

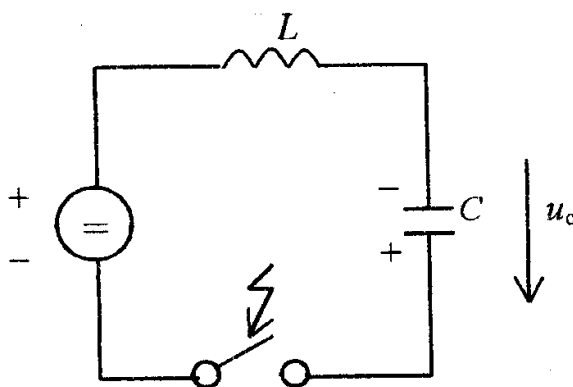
1.4.1.2 Vypínání kapacitních proudů

Při odpojení nabitého kondenzátoru od zdroje se za 10 ms změní polarita zdroje a na kontaktech vypínače bude napětí $2U_{\max}$, viz obr. 17.

Když nastane nový průraz, obvod zakmitne s frekvencí řádově stovek kHz a kondenzátor se může nabít až na hodnotu $2U_{\max}$.

Za dalších 10 ms se děj může opakovat a napětí na kondenzátoru tak dosáhne, jak ukazují zkušenosti, až velikost $7U_{\max}$.

Omezení přepětí se provádí zařazováním vysokoohmových odporů do vypínací dráhy a ty tlumí přepětí.



Obr.17 Náhradní schéma a opakovaný průraz při vypínání kapacitní zátěže

1.4.1.3 Zapínání nezatíženého vedení

Při zapínání nebo opětovného zapínání napájecí sítě nezatížených vedení dosahuje, podle zkušeností, činitele k hodnoty až 3. Při indukčním charakteru zdroje je hodnota ještě větší. [1]

Přenos s VN strany do NN TR je možný díky kapacitní vazbě ve stroji. Jev přenosu kapacitní vazbou v netočivém elektrickém stroji je důležité uvažovat především v oblasti středně energetických tranzientních jevů.

1.4.1.4 Simulovaný výpočet napět'ové špičky

Spínací přepětí SEMP má tvar poruchové vlny 8/20 μ s. Proud výboje je stanoven na 1000A. Tudíž v jedné fázi teče proud zhruba 333A. Pro výpočet je použito odvození Faradayova indukčního zákona (2.5). Tento výpočet se provádí z důvodu zpětného vlivu na přívodu. Kabel má indukčnost 1 μ H/m. Vodič má tudíž hodnotu 0,6 μ H/m.

$$W_L = \frac{1}{2} L \times i^2 \quad (2.0)$$

$$W_C = \frac{1}{2} C \times u^2 \quad (2.1)$$

$$\frac{1}{2} C \times u^2 = \frac{1}{2} L \times i^2 \quad (2.2)$$

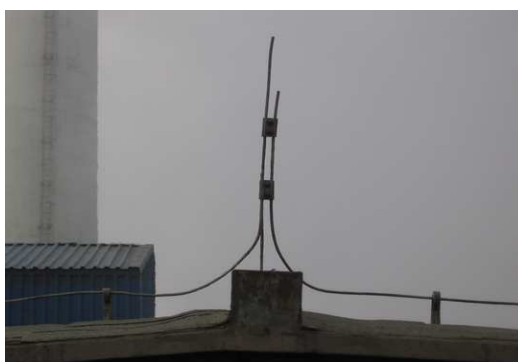
$$u = i \times \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.3)$$

$$u = L \cdot \frac{di}{dt} = 0,6 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{333}{8 \cdot 10^{-6}} \right) = 24,97 kV \quad (2.4)$$

2. Popis stávajících LPS v TKV

2.1 Řešení vnější LPS – hromosvod TKV

Při návrhu byla použita metoda valící se koule. Na střeše je mřížová soustava, která je tvořená sítí jímacích vedení. Jímače jsou umístěny na hranách a přesazích střechy viz. Obr.18. Více než 1/3 plochy střechy je chráněná jímací soustavou, která je instalována na komínu, ten odvádí spaliny teplárny z kotlů. Na komínu jsou umístěny tyčové hromosvody, které jsou tvořeny jímací soustavou tyčí FeZn o délce 3m.



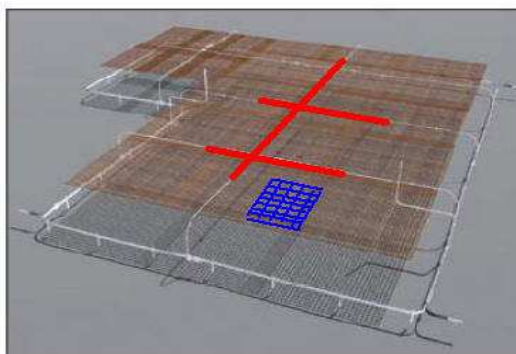
Obr.18 Jímač TKV

Rozteč svodů na budově je dán třídou LPS 2, kterou udává norma ČSN 62 305 – 3. Rozteče svodů je 10m. Velikost ok je 10 x 10m. Jako zemní drát je použit FeZn 10mm. Svody jsou ukončeny zkušební svorkou a napojeny na zemniče. Každý svod je opatřen zemničem.

V TKV jsou použity dva druhy zemničů. První uspořádání je typu B, ten byl instalován při stavbě budovy a byl vytvořen jako vzájemně spojené ocelové armování v základovém betonu obr.19. Je použit pásek FeZn 30x4 a Kari sítě, které jsou vzájemně spojeny. Je to mřížová uzemňovací soustava obr.20.

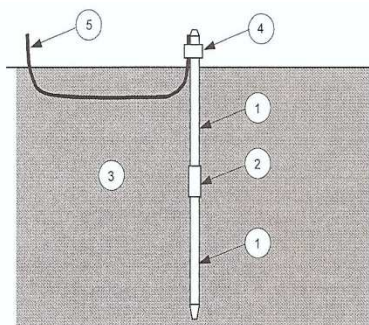


Obr.19 Zemní soustava - armovací síť



Obr.20 Mřížová uzemňovací soustava

Druhým typem zemničů, jsou zemniče uspořádání typu A, které zhruba před deseti roky doplnily stávající uzemnění zemnicími tyčemi viz. Obr. 21. Ty byly zatlučeny do země. Tyčový zemnič byl umístěn ve vzdálenosti v závislosti na velikosti elektrického impulsu a rezistivitě půdy zemniče. Dle ČSN 62305-3 musí být zemní odpor nižší než 10Ω .



Obr.21 Svislý tyčový zemnič typu A

Legenda

1.Zemnicí tyč, 2.Spojení tyče, 3.Půda, 4.Vodič ke svorce tyče, 5.Uzemňovací přívod

2.2 Ekvipotenciální pospojování proti blesku

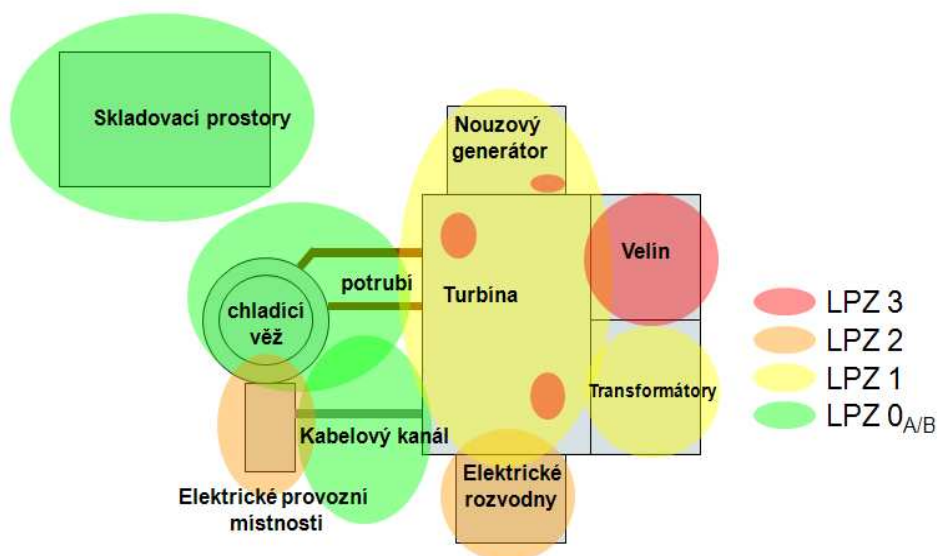
Vyrovnění potenciálů, bylo nainstalováno jako vzájemně spojené ekvipotenciální přípojnice. V místech rozveden, výtahových šachet a zábradlí, byly připojeny připojovací body pro pospojování všech velkých ocelových konstrukcí a dále pro vyvedení uzemnění v rozvodnách a pro hlavní ekvipotenciální pospojování. Každá přípojnice je připojena k vodivým částem ve vnějších zdech a v podlaze.

Podle ČSN 62 306 je v budově tzv. **ochranné pospojování**, které spojuje ochranný vodič, uzemňovací přívod a další vodivé části (kovové vodovodní, plynové a všechna ostatní potrubí a dosažitelné konstrukční kovové části). V budově TKV je provedeno pospojování vodiči, nebo náhodnými spoji ocelové konstrukce.

➤ Stávající soustava vyrovnění potenciálů (SVP)

Je provedena vodičem FeZn 30x4 a kovovou konstrukcí objektů. Tento vodič se nachází na vnější straně budovy ve výšce 430 a 525 cm nad úrovní povrchu. Napojení na tento vodič je provedeno svorkou SR 02 4xM8. Vodič uzemnění pásek FeZn 30x4 je z budovy veden prostupy ve

zdi budovy. U okruhu K1 a K2 se využívá stávajících prostupů s kabelovými lávkami a u okruhů K3 a K4 byly vytvořeny nové prostupy.



Obr.22 Rozdělení zón LPZ v TKV

2.3 Řešení SVP v TKV

V roce 2004 byl z důvodů bezpečnosti omezení rizika a novelizaci norem doplněn novým uzemněním v prostoru mlýnských okruhů kotlů. Ta je řešena z důvodů snížení rizika vzniku výbuchu ve vnějších prostorách technologie mlýnských okruhů kotlů K1,K2,K3,K4 a to uzemněním všech zařízení a pospojováním všech kovových objektů nacházejících se v prostorách těchto mlýnských okruhů. Společným uzemněním je dosaženo vyrovnání potenciálů všech zařízení mlýnských okruhů.

2.3.1 Nově uzemněné části mlýnských okruhů

- odlučovače uhlénoho prachu s turnikety - cyklóny
- sekundární ventilátor s pohonem
- šnekový dopravník uhlénoho prachu s pohonem
- zásobník uhlénoho prachu
- podavač uhlénoho prachu s pohonem
- mlýnský ventilátor s pohonem

- trubnatý mlýn s pohonem
- podavač surového uhlí s pohonem (redler)
- zásobník surového uhlí

Mlýnské okruhy se nacházejí v objektu kotelny a rozkládají se v podlažích v úrovni 0m-podlaží 0; 8,5m – podlaží 2; 18,5m – podlaží 5; 22,5m – podlaží 6.

2.3.1.1 Popis SVP v úrovni 0m mlýnského okruhu

Na této úrovni se nachází mlýn se svým pohonem, mlýnský ventilátor a roury s regulačními klapkami. Uzemnění je provedeno použitím vodiče FeZn 30x4. Pospojování všech kovových částí (zábradlí, žebříky, rámy dveří, kabelové trasy, skříně) je provedeno zemnicím drátem FeZn 8mm. (podle ČSN 33 2000-5-54 a ČSN 332030). Propojení s vyšším podlažím je provedeno vodičem uzemnění pásek FeZn 30x4 .

Řešeno v příloze č.2

2.1.1.2 Popis SVP v úrovni 8,5m mlýnského okruhu

Na této úrovni se nacházejí podavač uhelného prachu se svými pohony a redler (řetězový podavač) s pohonem. Jejich uzemnění je provedeno použitím vodiče FeZn 30x4 . Pospojování všech kovových částí (zábradlí, žebříky, rámy dveří, kabelové trasy, skříně....) je provedeno zemnicím drátem FeZn 8mm. (podle ČSN 332000-5-54 a ČSN 332030). Propojení s vyšším a nižším podlažím je provedeno vodičem uzemnění pásek FeZn 30x4.

2.3.1.3 Popis SVP v úrovni 15,5m mlýnského okruhu

Na této úrovni se nacházejí šnekový transportér uhelného prachu s pohony a třídič. Jejich uzemnění je provedeno použitím vodiče FeZn 30x4. Pospojování všech kovových částí (zábradlí, žebříky, rámy dveří, kabelové trasy, skříně....) je provedeno zemnicím drátem FeZn 8mm. (podle ČSN 33 2000-5-54 a ČSN 332030). Propojení s vyšším a nižším podlažím je provedeno vodičem uzemnění pásek FeZn 30x4.

2.3.1.4 Popis SVP v úrovni 18,5m mlýnského okruhu

V této úrovni je provedeno uzemnění potrubí mlýnského okruhu použitím vodiče FeZn 30x4. Pospojování všech kovových částí (zábradlí, žebříky, rámy dveří, kabelové trasy, skříně....) je provedeno zemnicím drátem FeZn 8mm. (podle ČSN 33 2000-5-54 a ČSN 332030). Propojení s vyšším a nižším podlažím je provedeno vodičem uzemnění pásek FeZn 30x4.

2.1.1.5 Popis SVP v úrovni 22,5m mlýnského okruhu

V této úrovni je provedeno uzemnění sekundárních ventilátorů se svými pohony a cyklónů s turnikety prostřednictvím jejich nosné konstrukce vodičem uzemnění pásek FeZn 30x4. Pro pospojování všech kovových částí (zábradlí, žebříky, rámy dveří, kabelové trasy, skříně....) je zde použit zemnicí drát FeZn 8mm a využita ocelová konstrukce. (podle ČSN 33 2000-5-54 a ČSN 332030). Propojení s nižším podlažím je provedeno vodičem FeZn 30x4.

2.4 Projekt řízení rizika LPS

Výpočet rizika dle ČSN EN 62305-2 je povinně dán vyhláškou 268/2009 Sb. u všech staveb a jejich stavebních úprav či změně užívání určených v §36:

Ochrana před bleskem

Ochrana před bleskem se musí zřizovat na stavbách a zařízeních tam, kde by blesk mohl způsobit :

- ohrožení života nebo zdraví osob
- poruchu s rozsáhlými důsledky na veřejných službách
- škody na kulturním dědictví
- výbuch zejména ve výrobně a skladu výbušných a hořlavých hmot, kapalin a plynů
- ohrožení stavby, u které je zvýšené nebezpečí zásahu bleskem v důsledku jejího umístění na návrší nebo vyčnívá-li nad okolí, zejména u továrního komína, věže, rozhledny a vysílací věže

2.4.1 Způsob řešení řízení rizika

Pro výpočet určení rizika, byl použit zjednodušený program Výpočet rizika č.R03 verze 4.20. Tento program vytvořil ing. Milan Kaucký.



Obr. 23 Ukázka programu R03 verze 4.20

Do programu se zadají potřebné data, které program zpracuje a vyhodnotí rizika R1 až R4. Pokud hodnoty přesahují dovolenou mez, v tom případě musí projektant navrhnout ochranné opatření, tak aby hodnoty dosahaly správných hodnot. Tento program je jednoduchý a účelný. Pro přesnější určení řízení rizik se dají zakoupit licencované programy. Například od firmy AIXTHOR.

V program počítá rizika R1 až R4.

R1 – riziko ztrát lidských životů

R2 – riziko ztrát na veřejných službách

R3 – riziko ztrát na kulturních dědictví

R4 – riziko ekonomických hodnot

2.4.2 Vlastní provedení výpočtu rizika

Riziko bylo vypočítáno pro tyto určující hodnoty objektu Dalkia – Teplárna Karviná.

Riziko je stanoveno pro třídu rizika II (ohrožení výbojem blesku a přepětím).

Výpočet rizika dle ČSN EN 62305-2.

2.4.3 Zadané hodnoty objektu TKV

Rozměry vyšetřovaného objektu TKV (budovy):

šířka = 110 m délka = 50 m výška = 32 m

Objekt je rozdělen do: 1 vnějších zón a 4 vnitřních zón

Poloha objektu: osamocený objekt, žádné jiné objekty nebo stromy v sousedství

činitel polohy $C_d = 1$

Typ objektu a jeho využití: Průmyslová nebo obchodní budova

V objektu se vyskytuje celkem 25 osob uvnitř, 5 vně objektu

Vnější LPS (hromosvod): instalován elektricky izolovaný hromosvod třídy LPS III

Rozteč svodů je cca 15 m

Hustota úderů blesku v okolí objektu je 3 blesků na km^2

2.4.4 Zadané inženýrské sítě

Jsou zadány celkem 4 inženýrské sítě

2.4.4.1 Inženýrská síť č.1 Telekomunikace

Celkové parametry sítě: síť se skládá z 1 sekce

Celková délka inženýrské sítě je 1000 m

Typ vedení sekce: kabelová

Síť bez transformátoru, transformátorový činitel $C_t = 1$

Okolí sekce je předměstské s výškou budov do 10 m

Činitel prostředí okolí sekce $C_e = 0$,

2.4.4.2 Inženýrská síť č.2 ČEZ síť VVN 110kV

Celkové parametry sítě: síť se skládá z 1 sekce

Celková délka inženýrské sítě je 100 m

Typ vedení sekce je: venkovní

Výška vedení nad zemí = 15 m

Síť s transformátorem, transformátorový činitel $C_t = 0,2$

Počet nebezpečných událostí pro údery v blízkosti sekce je 0,3

Okolí sekce je předměstské s výškou budov do 10 m

Činitel prostředí okolí sekce $C_e = 0,5$

2.4.4.3 Inženýrská síť č.3 Dalkia síť 0,4kV

Celkové parametry sítě: síť se skládá z 1 sekce

Celková délka inženýrské sítě je 100 m

Typ vedení sekce je: kabelová

Sít' bez transformátoru, transformátorový činitel $C_t = 1$
Okolí sekce kabelové podzemní vedení
Činitel prostředí okolí sekce $C_e = 0$

2.4.4.4 Inženýrská síť č.4 Dalkia síť 6kV

Celkové parametry sítě: síť se skládá z 1 sekce
Celková délka inženýrské sítě je 120 m
Typ vedení sekce je: kabelová
Sít' bez transformátoru, transformátorový činitel $C_t = 1$
Okolí sekce kabelové podzemní vedení
Činitel prostředí okolí sekce $C_e = 0$

2.4.5 Zadané vnější zóny

2.4.5.1 Venkovní zóna č.1 Příjezdová a příchozí zóna

Povrch venkovní zóny: beton(litý, dlaždice)
Ochranná opatření proti krokovým a dotykovým napětím: jedno nebo kombinace opatření:
Účinná soustava vyrovnání potenciálu v zemi, nebo rezistivita povrchu $< 5k\Omega$
Využití vnější zóny z pohledu specifických rizik: objekty s jiným využitím bez zvýšeného nebezpečí
Charakter využití je nejbližší: prostory pro průmyslovou nebo řemeslnou činnost

2.4.6 Zadané vnitřní zóny

2.4.6.1 Vnitřní prostor č.1 Výrobní prostor

Zóna je zařazena jako LPZ 1
Povrch vnitřní zóny: beton (litý, dlaždice)
Využití vnitřní zóny z pohledu specifických rizik: objekty s jiným využitím bez zvýšeného nebezpečí
Riziko vzniku požáru je obvyklé
Riziko propuknutí paniky nebo nebezpečného vlivu na okolí v případě požáru: žádné riziko paniky nebo vlivu okolí
Instalovaná protipožární opatření v zóně: hasící přístroje; chráněné únikové cesty
Charakter využití je nejbližší: prostory pro průmyslovou nebo řemeslnou činnost
Ze zóny jsou poskytovány služby veřejnosti: elektrická energie, teplo
Systém vyrovnání potenciálu a zapojení zařízení a spotřebičů v zóně: mřížová soustava s vyrovnaným potenciálem a zapojení zařízení a spotřebičů typu M (mřížová)
Stínění zóny: stínění je provedeno mříží s oky o rozteči: 15 m
Do zóny je přivedena 1 inženýrská síť:

➤ **Dalkia síť 0,4 kV**

Koordinovaná ochrana SPD v inženýrské síti: žádná koordinovaná ochrana

Nejmenší vzdálenost kabelů sítě od vnějšího LPS (hromosvodu) = 10 m

Vnitřní rozvody - provedení a uložení kabelů: nestíněný kabel - žádná opatření při trasování pro vyloučení velkých smyček. Odolnost el.zařízení proti přepětí: zařízení vyhovují ČSN 33 2000-4-443 čl. 443.4 (IEC 60664-1).

Použitá elektrická zařízení odpovídají: - impulsní výdržné kategorii I (1,5kV)

2.4.6.2 Vnitřní zóna č.2 Místnost velínu

Zóna je zařazena jako LPZ 2

Povrch vnitřní zóny je linoleum a obdobné materiály

Využití vnitřní zóny z pohledu specifických rizik: objekty s jiným využitím bez zvýšeného nebezpečí

Riziko vzniku požáru je obvyklé

Riziko propuknutí paniky nebo nebezpečného vlivu na okolí v případě požáru: nízká úroveň paniky (cca do 100 osob)

Instalovaná protipožární opatření v zóně: hasicí přístroje; chráněné únikové cesty

Charakter využití je nejbližší: prostory pro průmyslovou nebo řemeslnou činnost

Ze zóny jsou poskytovány služby veřejnosti: elektrická energie

Systém vyrovnání potenciálu a zapojení zařízení a spotřebičů v zóně: soustava místních potenciálových sběrnic a zapojení zařízení a spotřebičů typu S (do hvězdy)

Stínění zóny: žádné stínění není provedeno

Do zóny je přivedena 2 inženýrské sítě:

➤ **Dalkia síť 0,4kV**

Koordinovaná ochrana SPD v inženýrské síti: žádná koordinovaná ochrana

Nejmenší vzdálenost kabelů sítě od vnějšího LPS (hromosvodu) = 10 m

Vnitřní rozvody - provedení a uložení kabelů: nestíněný kabel - žádná opatření při trasování pro vyloučení velkých smyček. Odolnost el.zařízení proti přepětí: zařízení vyhovují ČSN 33 2000-4-443 čl. 443.4 (IEC 60664-1).

Použitá elektrická zařízení odpovídají: - impulsní výdržné kategorii I (1,5 kV)

➤ **Telekomunikační síť**

Koordinovaná ochrana SPD v inženýrské síti: koordinovaná ochrana má lepší parametry, než požaduje projektovaná LPL

Nejmenší vzdálenost kabelů sítě od vnějšího LPS (hromosvodu) = 12 m

Vnitřní rozvody - provedení a uložení kabelů: stínění je připojeno na ekvipotenciální pospojování na stejnou přípojnicí jako zařízení. Stíněný kabel s odporem stínění 1 až 5 Ω /km

Použitá elektrická zařízení odpovídají: - impulsní výdržné kategorii I (1,5 kV)

2.4.6.3 Vnitřní prostor č.3 Rozvodna 0,4kV

Zóna je zařazena jako LPZ 2

Povrch vnitřní zóny: keramická dlažba

Využití vnitřní zóny z pohledu specifických rizik: objekty s jiným využitím bez zvýšeného nebezpečí

Riziko vzniku požáru: obvyklé

Riziko propuknutí paniky nebo nebezpečného vlivu na okolí v případě požáru: žádné riziko paniky nebo vlivu okolí

Instalovaná protipožární opatření v zóně: hasící přístroje; chráněné únikové cesty

Charakter využití je nejbližší: prostory pro průmyslovou nebo řemeslnou činnost

Ze zóny jsou poskytovány služby veřejnosti: nejsou

Systém vyrovnání potenciálu a zapojení zařízení a spotřebičů v zóně: soustava místních potenciálových sběrnic a zapojení zařízení a spotřebičů typu S (do hvězdy)

Stínění zóny: žádné stínění není provedeno

Do zóny je přivedena 1 inženýrská síť

➤ Dalkia síť 0,4kV

Koordinovaná ochrana SPD v inženýrské síti: žádná koordinovaná ochrana

Nejmenší vzdálenost kabelů sítě od vnějšího LPS (hromosvodu) = 15 m

Vnitřní rozvody - provedení a uložení kabelů: nestíněný kabel - žádná opatření při trasování pro vyloučení velkých smyček. Odolnost el.zařízení proti přepětí: zařízení vyhovují ČSN 33 2000-4-443 čl. 443.4 (IEC 60664-1).

Použitá elektrická zařízení odpovídají: - impulsní výdržné kategorii I (1,5 kV)

2.4.6.4 Vnitřní prostor č.3 Prostory mlýnů

Zóna je zařazena jako LPZ 1

Povrch vnitřní zóny: beton

Využití vnitřní zóny z pohledu specifických rizik: objekty s jiným využitím bez zvýšeného nebezpečí

Riziko vzniku požáru je obvyklé

Riziko propuknutí paniky nebo nebezpečného vlivu na okolí v případě požáru: žádné riziko paniky nebo vlivu okolí

Instalovaná protipožární opatření v zóně: pevné automaticky ovládaná hasící instalace, automatická poplachová instalace chráněná SPD a jinému poškození a v případě zásahu hasičů do 10 minut

Charakter využití je nejbližší: prostory pro průmyslovou nebo řemeslnou činnost

Ze zóny jsou poskytovány služby veřejnosti: nejsou

Systém vyrovnání potenciálu a zapojení zařízení a spotřebičů v zóně: mřížová soustava s vyrovnaným potenciálem a zapojení zařízení a spotřebičů typu M (mřížová)

Stínění zóny: žádné stínění není provedeno

Do zóny jsou přivedeny 2 inženýrské sítě

➤ **Dalkia síť 0,4kV**

Koordinovaná ochrana SPD v inženýrské síti: žádná koordinovaná ochrana

Nejmenší vzdálenost kabelů sítě od vnějšího LPS (hromosvodu) = 10 m

Vnitřní rozvody - provedení a uložení kabelů: nestíněný kabel - žádná opatření při trasování pro vyloučení velkých smyček. Odolnost el. zařízení proti přepětí: zařízení vyhovují ČSN 33 2000-4-443 čl. 443.4 (IEC 60664-1).

Použitá elektrická zařízení odpovídají: - impulsní výdržné kategorii I (1,5 kV)

➤ **Dalkia síť 6kV**

Koordinovaná ochrana SPD v inženýrské síti: žádná koordinovaná ochrana

Nejmenší vzdálenost kabelů sítě od vnějšího LPS (hromosvodu) = 16 m

Vnitřní rozvody - provedení a uložení kabelů: nestíněný kabel - žádná opatření při trasování pro vyloučení velkých smyček. Odolnost el. zařízení proti přepětí: zařízení vyhovují ČSN 33 2000-4-443 čl. 443.4 (IEC 60664-1).

Použitá elektrická zařízení odpovídají: - impulsní výdržné kategorii I (1,5 kV)

2.4.8 Celkový výsledek výpočtu rizika stávajícího stavu v TKV

R1	0,000021507064	> 0,00001	nevyhovuje
R2	0,000202996656	< 0,001	vyhovuje
R3	0,000000000000	< 0,001	vyhovuje
R4	0,235144757248	> 0,005	nevyhovuje

Celkový výsledek = Nevyhovuje

Z daného výsledku vyplývá, že současné zabezpečení před atmosférickým a provozním přepětí nevyhovuje. Musíme proto nainstalovat SPD ochranu LPS 2. S ní opět provedu v programu analýzu rizika. Tato analýza je v příloze č. 3. Z výsledku opakované analýzy je zřejmé, že tato SPD ochrana je dostačující.

Srovnáním výpočtu rizika neoptimalizovaného s optimalizovaným dle ČSN 62 305 jsem zjistil, že po instalaci SPD poklesne příslušné riziko pod normou stanovenou mez.

3. Shrnutí analýzy současného stavu

Stávající stav zabezpečení objektu proti atmosférickému přepětí LEMP nevyhovuje požadované normě ČSN EN 62305, jak jsem zjistil díky výpočtu analýzy rizik. Stávající ochrana SPD je instalována v rozvodnách 0,4kV, kde je použita ochrana DEHNventil typ VGA 280/3 obr.24. Jedná se o starší, již nevyráběný typ, který je tvořen vyfukujícími jiskřišti, vyžaduje předjištění do max. 100A (tato podmínka není ve stávající instalaci splněna), zajišťuje ochrannou úroveň 2,5kV a není koordinován pro bezprostředně sousedící montáž s dalšími svodiči. Svodič je spojen se sběrnici PEN, která je uzemněna. Pro zabezpečení ochranné úrovně 1,5kV (vhodná zejména z hlediska zapojených zařízení s elektronickými prvky) lze doporučit, buď doplnění stávajícího svodiče typově odpovídající ochranou třídy II se sníženou hladinou U_p 1,5kV a s předřazenými oddělovacími tlumivkami, nebo osazení nového kombinovaného svodiče. Protože v důsledku změn sortimentu souvisejících s technickým vývojem toto řešení pro svodič DehnVentil VGA-280/3 již nelze první variantu zajistit s výhradou použití starších již nevyráběných přístrojů.

Z tohoto důvodu hrozí riziko poškození zařízení a ekonomické ztráty. Proto navrhuji v TKV nainstalovat nový systém ochran SPD dle platných norem.



Obr.24 Stávající SPD ochrana v rozvodně 0,4KV

Dalším důvodem instalace SPD ochran, je spínací přepětí SEMP na vedení, které může dosáhnout přepětí do velikosti řádově desítek kV a více. Proto byla vypočítána napěťová špička na přívodu při odpojení motorů pod zátěží. Například – pohon je zastaven při plném výkonu a v této situaci (proud blížící se zkratu), zareagují jističe a vznikne napěťová špička na vedení, která přejde do tlumené oscilace. Výpočet je proveden v kapitole 1.4.1.4

Rušení po vedení NEMP nebyly měřeny, ale vzhledem k výkonu, který je přenášen po napájecím vedení a blízko rozvodů, může vzniknout indukce do rozvodů napájení. Proto s tímto přepětím musíme uvažovat.

Systém SPD ochran je navrhnout a detailně popsán v kapitole 5.

4. Legislativní rámec

Technické řešení ochrany proti přepětí určené normou není, Norma popisující technické řešení by rychle zastarala a neumožňovala by technické inovace. Technické řešení ochran tedy vychází z požadavků normy na úroveň omezení přepětí.

Jelikož naše republika podepsala s evropskou unií asociační dohodu, vztahují se na ČR všechny normy vydané EU. Direktiva č.89/336 EEC, zákon č.22/97 Sb. a vyhlášky NV 17/2003 Sb. a NV 18/2003 Sb. nařizují pro elektrická zařízení dodržování podmínek elektromagnetické kompatibility (EMC). Nasazení přepětíových ochran řeší většinu problémů s tím souvisejících a dostatečně chrání elektroniku proti vlivům přepětí šířícího se po galvanických cestách.

V současné době je nutné řídit se mezinárodně uznávanou normou EN 61643-11, která jednoznačně určuje stupně přepětíových ochran a jejich zkoušky. Technické řešení ochran tedy vychází z požadavků normy na úroveň omezení přepětí, z požadavků investora a projektanta na odolnost zařízení a požadovanou úroveň bezpečnosti a z ekonomických možností investora. Pro jednotlivé řešení existují řady publikací a standardů:

- ČSN 33 2000-5
- ČSN EN 62 305
- ČSN EN 51 074
- IEC TS 61 000-6-5

Ze standardů je možné přiřadit kategorie – třídu EMC krytí. Do třídy ochrany musíme zahrnovat množství faktorů, jako je umístění a okolí stavby, druh stavby, typ střechy a krytiny, možnost vzniku paniky. Pokud vznikne výpadek provozu, vznikají škody na majetku, provozních vlastnostech a řada dalších.

Norma zařazuje objekty do čtyř tříd ochrany LPS. Parametry LPS jsou určeny charakteristickými vlastnostmi chráněné stavby a uvažovanou hladinou ochrany před bleskem. Aby bylo možné zařadit zařízení do tříd ochrany, je nezbytná podrobná znalost objektu, jeho specifikace určení a odpovídající rizikové faktory. To zahrnuje výpadky výrobního procesu, nebo dokonce výbušnost a hořlavost látek v objektu.

Projekt a návrh ochrany proti přepětí musí být vytvořen v souladu s ČSN EN 60099. Vnitřní ochrana proti atmosférickému a provoznímu přepětí v napájecím systému je navržena trojstupňově. První stupeň je SPD typ 1, svodič s vysokou energetickou účinností, svádí bleskové proudy. Je instalován na sběrnících vn/nn hlavní rozvodny. Aktivní prvky jsou v provedení spínacího jiskřiště.

Druhý stupeň je SPD typ 2, svodič schopný svádět pulzní přepětí o střední energii, je umístěn v rozvodnách nn, rozváděcích nn, ale i v podružných rozváděcích. Ochrana je konstruována na bázi varistorů, která svádí atmosférické nebo spínací přepětí. Reagují plynule na libovolné velikosti přepětí a vykazují téměř nulové následné proudy.

Třetí stupeň je SPD typ 3, svodiče sloužící k ochraně jednotlivých spotřebičů. Jsou instalovány v blízkosti zařízení pro sběr, přenos, zpracování dat, tedy přímo v rozvaděčích strojů, v technologických místnostech a velínech, místnostech serverů a telefonních ústřednách, rozvodných skříních informatiky, zařízeních radiokomunikace, zařízeních GPS, zařízeních jednotného času, rozhlasových a dorozumívacích systémů.

Instalované ochrany proti přepětí typ 1 a typ 2 (třídy zkoušek I a II podle ČSN EN 61643-11), by měly být vybaveny kontrolou vnitřního stavu s dálkovým hlášením. Prvky ochrany typu 3 budou mít signalizaci akustickou. Tyto ochrany budou vyhovovat normě ČSN EN 62305, ČSN 332000-4, ČSN EN 60071. Silové rozvody kabelů budou odděleny od datových kabelů krytem, nebo polohou.

Pro správnost návrhu projektu musí obsahovat následné body:

Uzemnění, vyrovnaní potenciálu a volbu vhodné soustavy napájení
Uplatnění konceptu ochranných zón
Dimenzování kabelů a vodičů včetně stanovení vhodných rozvodných tras
Výběr konceptu stínění a vyrovnaní potenciálu pro datové a informační systémy
Volba EMC opatření - vyhledání možných míst rozdílů potenciálů a jejich vzájemná izolace
Volba EMC opatření - rozmístění interferujících zařízení
Volba EMC opatření - izolace a stínění rušivých polí
Volba EMC opatření - odrušení a filtrace harmonických u zdrojů rušení
Volba EMC opatření - ochrany proti impulznímu rušení a vf filtrace přístrojů
Musíme uvažovat o tom, že pokud chceme chránit zařízení, majetek a zdraví osob je zapotřebí zvyšovat ochranné opatření. Proto uvažujeme o zařízení a instalaci jako celku

Stávající normy

➤ ČSN EN 62 305 Ochrana před bleskem

Dne 1.12.2006 vstoupila v platnost nová norma řešící problematiku ochrany před bleskem.

ČSN EN 62 305-1 Ochrana před bleskem - Část 1 - Obecné principy

ČSN EN 62 305-2 Ochrana před bleskem - Část 2 - Řízení rizika

ČSN EN 62305-3 Ochrana před bleskem - Část 3 - Hmotné škody na stavbách a nebezpečí rizika

ČSN EN 62 305-4 Ochrana před bleskem - Část 4 - Elektircké a elektronické systémy ve stavbách

Jedná se o důležitou normu obsahující podstatné změny oproti původní normě. Nová norma sjednocuje normy s EU a zahrnuje nové technologické systémy jako WiFi, SAT, kabelové televize, PC, UPS apod., které stará norma ČSN 34 1390 ještě neznala a které mohou být cílem úderu blesku.

- **ČSN 33 2000-4-443 ed.2 Elektrické instalace budov - Část 4-44: Bezpečnost - Ochrana před rušivým napětím a elektromagnetickým rušením - Kapitola 443: Ochrana proti atmosférickým nebo spínacím přepětím**

Tato norma je českou verzí harmonizačního dokumentu HD 60364-4-443:2006, který je převzetím změny IEC 60364-4-44:2001/A1:2003 s modifikacemi. S účinností od 1. července 2008 nahradil ČSN 33 2000-4-443 ze srpna 2001 (souběžná platnost).

Norma se zabývá ochranou elektrických instalací proti přechodným přepětím atmosférického původu, která jsou přenášena napájecí distribuční soustavou, a proti spínacím přepětím.

- **ČSN EN 61643-11 Ochrany před přepětím nízkého napětí - Část 11: Přepět'ová ochranná zařízení zapojená v sítích nízkého napětí - Požadavky a zkoušky**

Tato norma se vztahuje na zařízení pro přepět'ovou ochranu proti nepřímým i přímým účinkům atmosférického přepětí blesku nebo jiných transienčních přepětí. Tato zařízení jsou konstruována pro připojení k střídavým napájecím obvodům 50/60 Hz a k zařízení se jmenovitým napětím.

Ochrana třídy zkoušek I dle ČSN EN 61643-11 článek 3.35 /Typ1 musí splňovat požadavky na ochrany pro kategorii ohrožení I – schopnost odvést impulzní proud 100kA ve vlně 10/350 μ s. Předpokládá se jiskřišťová varianta svodiče přepětí.

Ochrana třídy zkoušek II dle ČSN EN 61643-11 / Typ2 musí splňovat požadavky na ochrany pro kategorii ohrožení I - schopnost odvést impulzní proud 40kA ve vlně 8/20 μ s s ochrannou napět'ovou hladinou 1,5 kV.

Ochrana Typ1 + Typ2 spojuje vlastnosti obou výše uvedených ochrany, tedy jiskřišť se schopností odvést impulzní proud 100kA ve vlně 10/350 μ s a varistorového svodiče se schopností odvést impulzní proud 40kA ve vlně 8/20 μ s s ochrannou napět'ovou hladinou 1,5 kV, v paralelní synchronizované kombinaci.

Ochrana Typ1 / Typ2 musí splňovat požadavky na ochrany pro kategorii ohrožení IV ve smyslu daném ČSN EN 62305-4 - schopnost odvést impulzní proud 12,5kA ve vlně 10/350 μ s s ochrannou napět'ovou hladinou 1,5 kV, na varistorové technologii.

Ochrana třídy zkoušek III dle ČSN EN 61643-11 / Typ3 představuje přístrojovou ochranu s rychlými varistory mezi pracovními vodiči a bleskojistkou k vodiči ochrannému. Ochrana je bipolární, v případě potřeby vybavená filtrem rušivých frekvencí. Předpokládá se funkce sine-wave-tracking.

Ochrana třídy zkoušek B2 dle ČSN EN 61643-21 předpokládá zkrat na napájecí vedení a velmi pomalý průběh impulzu. Zkouška je provedena impulzem až 4 kV 10/700 μ s a 100 A 5/300 μ s.

Ochrana třídy zkoušek C1 dle ČSN EN 61643-21 uvažuje ostrou strmost čela impulzu. Zkouška je provedena impulzem až 2 kV ve tvaru 1,2/50 μ s a 1 kA ve tvaru 8/20 μ s.

Ochrana třídy zkoušek C2 dle ČSN EN 61643-21 uvažuje ostrou strmost čela impulzu. Zkouška je provedena impulzem až 10 kV ve tvaru 1,2/50 μ s a 5 kA ve tvaru 8/20 μ s.

Ochrana třídy zkoušek C3 dle ČSN EN 61643-21 uvažuje ostrou strmost čela impulzu. Zkouška je provedena impulzem 1 kV s gradientem růstu 1 kV/ μ s tvaru 1,2/50 μ s a 100 A ve tvaru 10/1000 μ s.

Ochrana třídy zkoušek D1 dle ČSN EN 61643-21 uvažuje velkou energii impulzu. Zkouška je provedena impulzem nad 1 kV a 0,5 kA až 2,5 kA ve vlně 10/350 μ s.

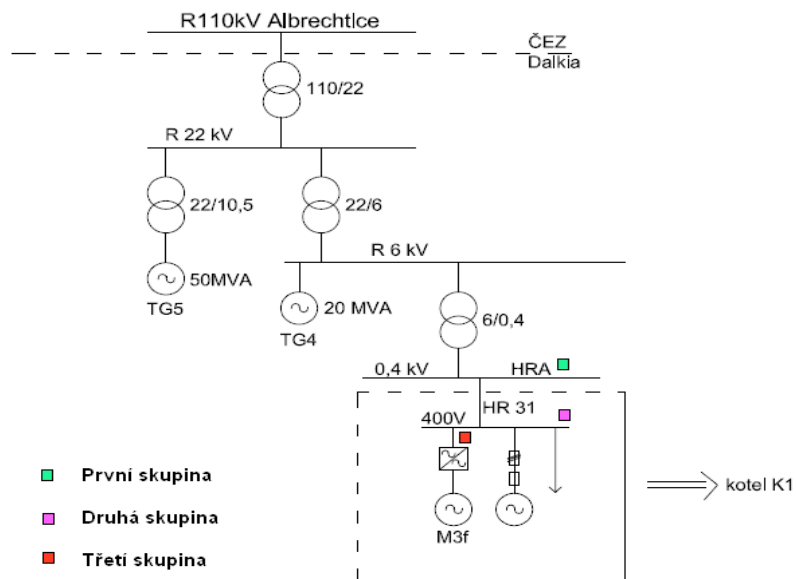
V požadavku uvedené řešení například Typ B2/C1/C2 dle ČSN EN 61643-21 znamená, že jediný ochranný prvek zároveň splňuje předpis všech zadaných tříd zkoušky.

Napájení Power-Over-Ethernet (PoE) předpokládá použití instalace Cat.6+, s využitým plným počtem 8 vodičů, s napájením oběma možnými způsoby – mezi páry i mezi směry.

5. Návrh SPD pro rozvodny v TKV

5.1 Návrh SPD pro rozvodnu 0,4kV

Pro návrh instalací SPD jsem rozdělil jednotlivé rozvodny a rozváděče do několika základních skupin. Pro samostatný návrh SPD byly použity materiály společnosti PhoenixContact.



Obr.25 Zjednodušené schéma sítě rozvodu TKV

- První skupina: Hlavní rozvodny napájené z transformátorů vn/nn, která je nejvíce ohrožena vysokoenergetickými tranzienty, proto bude osazena prvky určenými na rozhraní ZO_{B0} a ZO_{B1} (SPD Typ 1) Pro zlepšení doby reakce a ochranné hladiny budou všechny SPD v těchto rozvodnách koordinovány s SPD typ 2.



Obr. 26 PWT 100-800AC-FM (SPD typ 1)



Obr. 27 VAL-MS 230/3+1 FM (SPD typ 2)

- Druhá skupina: Podružné rozvodny, které jsou rozmístněny po objektu a přísluší jednotlivým technologickým celkům. Vzhledem k charakteru výroby, požadavkům standardů a technologickým předpisů na zařazení výroby energií do kategorie II podle ČSN 62 305. Navrhuji osadit tyto rozvodny buď typem shodných s rozvodnami zařazenými do první skupiny, popřípadě nahradit tyto výrobky koordinované kategorií Typ 1 +Typ 2. To jsou tzv. power varistory Typ 1/typ2, které jsou schopny absorbovat energii výboje 12,5kA (10/350μs).



Obr. 28 FLT-CP-3C-350 (SPD Typ 1+Typ 2)

- Třetí skupina: Zahrnuje jednotlivé přístroje a ztařžení. V těchto rozvaděčích považuji za dostatečné osadit SPD Typ 2. (v případě unifikace nevhodnou polohou je možno ochrany nahradit SPD Typ 1/Typ 2).



Obr. 29 VAL-MS-T1/T2 335/12.5/3+1-FM (SPD Typ 1/Typ 2)

- Pro úplnost doporučuji před napájecí zdroje SKŘ umístit SPD Typ 3. Tato ochrana slouží k eliminaci elektromagnetické interferenci zdroje a přístroje po vedení.



Obr. 30 PT 2-PE/S-230AC/FM (SPD Typ 3)

5.2 Návrh SPD pro rozvodnu 0,5kV

Na přání TKV jsem řešil i návrh SPD do rozvodu 0,5 kV.

- Napájení rozvodu 0,5kV bude osazena varistorová SPD Typ 2 s kontrolou vnitřního stavu a s dálkovým hlášením. Rozvodna je v síti IT.



Obr. 31 SYS-SET/3/T2/690 (SPD typ 2)

Kabeláž je vždy delší než 10 metrů, z toho důvodu z pohledu ochrany elektrické instalace před vysokoenergetickými a středoenergetickými tranzienty považujeme rozvodny a rozváděče za samostatné.

Od teplárny byly získány schémata rozváděčů a rozvoden, do kterých jsou detailně zakresleny SPD, jejich umístění a typy. Pro celkový návrh SPD v TKV by se musely doplnit návrhy pro všechny rozvodny a rozváděče. Tato diplomová práce se zabývá pouze studií ochrany zařízení proti přepětí a jejich návrhu.

Získané rozvodny a rozváděče :

- Schéma rozvodu 400V - Příloha č.4
- Rozváděč RS 1– Příloha č.5
- Schéma rozvodu 500V (RA) – Příloha č.6
- Rozváděč HR43.1 – Příloha č.7
- Rozváděč HR 31 – Příloha č. 8
- Rozváděč hr 51 – Příloha č.9

6. Závěr

V mé diplomové práci jsem se zabýval studií a návrhem přepětíových ochran pro rozvodny 0,4 kV pro závod Teplárny Karviná. Návrh je realizován tak, aby ho bylo možno v budoucnu využít při samotné realizaci a instalaci v teplárně. Tento návrh byl doplněn návrhem přepětíových ochran i pro rozvodnu 0,5kV.

Dříve než byl návrh realizován, bylo nutné se seznámit se souborem norem ČSN EN 62 305, ČSN EN 50178 a řadou dalších. Pro samostatný návrh bylo také zapotřebí se detailně seznámit se stávajícím systémem vnitřních a vnějších ochran před bleskem v teplárně.

V úvodí kapitole je uveden teoretický rozbor všech druhů přepětí, typy výbojů. Jsou zde popsány druhy ochran, jejich návrh a rozdělení.

V druhé kapitole je popsán současný stav ochrany před bleskem a přepětím, jako je hromosvod, počet svodů, druhy zemničů a řešení soustavy vyrovnání potenciálů. V roce 2004 bylo v TKV z důvodů bezpečnosti omezení rizika přidáno nové uzemnění v prostoru mlýnských okruhů kotlů. V rozvodnách 0,4 kV je již instalovaná ochrana SPD, DEHNventil typ VGA 280/3, která se již nevyrábí a v dnešní době už není vyhovující, proto je nutné ji nahradit novou ochranou SPD, která bude vyhovovat našim požadavkům. Dále byl vytvořen projekt o provedení výpočtu analýzy rizika, ve kterém bylo zjištěno, že dosavadní ochrany jsou nedostatečné a v případě atmosférického, nebo provozního přepětí by mohly vzniknout jak ztráty na veřejných službách, tak i ztráty ekonomických hodnot. Řízení rizika bylo provedeno ve zjednodušeném programu“ R03 verze 4.20“, který vytvořil Ing. Milan Kaucký.

Ve třetí kapitole je shrnutí současného stavu ochran v TKV.

Čtvrtá kapitola zahrnuje legislativní rámec, který popisuje technické řešení ochran z požadavků normy a standardů.

V poslední kapitole je vytvořen podrobný návrh SPD nejen pro rozvodny 0,4kV, ale také pro rozvodny 0,5kV. Tyto návrhy jsou detailně v této kapitole rezebrány.

Tato Diplomová práce byla pro mne velkým přínosem a teoretické poznatky získané při studiu mi umožňují jejich další uplatňování v praxi. Problematika ochrany zařízení před přepětím se stále více uplatňuje v praxi. Věřím, že je otázkou času, kdy budou tyto ochrany nedílnou součástí všech elektroinstalací od průmyslových objektů až po rodinné domy. Pevně doufám, že tuto práci využije provozovatel teplárny pro modernizaci ochran celého systém chránění zařízení proti přepětí.

7. Seznam použité literatury

- [1] **V. Mach**, *Technika vysokého napětí*, Skripta VŠB
- [2] **J. Heřman, Z. Trinkewitz a kolektiv autorů**. Elektrotechnické a telekomunikační instalace
- [3] **C. Koudelka**, *Ochrana před bleskem*, skripta VŠB
- [4] **V. Vávra, C. Koudelak**, *Uzemnění*, skripta VŠB
- [5] **C. Koudelka**, *Ochrana před přepětím*, skripta VŠB
- [6] **Materiály propůjčené Teplárnou Karviná**
- [7] **ČSN EN 62 305** – Ochrana před bleskem a přepětím
- [8] **IEC TS 61000 – 6 – 5** Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 6-5: General Standards – Immunity for Power Station and Substation Environment
- [9] **V. Brok**, *Teorie a praxe v elektrotechnice*
- [10] **J. Hudec**, *Přepětí*
- [11] **ČSN EN 33 2000 – 5 – 54** – Elektrotechnické předpisy
- [12] **ČSN EN 50 178** – Elektronická zařízení pro použití ve výkonových instalacích
- [13] **Jaroslav Hudec**, *Třístupňová přepětíová ochrana pro napájecí sítě do 1000 V*
- [14] **Zdeněk Rous**, *Přepětíové ochrany v elektrických instalacích do 1000 V*

Internetové odkazy

- [15] *Teorie a praxe – přepětíové ochrany*; <http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Navrhy-vyvojare/ART531-Z-ceho-jsou-sestavovany-prepetove-ochrany.html>

8. Přílohy

Příloha č.1 – Celkové schéma TKV

Příloha č.4 – Schéma rozvodu 0,4 kV jsou umístněny v kapse pro dokumenty.

Tyto přílohy jsou umístněné samostatně v kapse pro dokumenty.